PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 9 — 1. Mai 1937. Redaktionsschluß für Nr. 11 am 15. Mai 1937. — 38. Jahrgang

INHALT:

Abhandlungen:

W. Keil und K. Hild, Beobachtungen an Armbanduhren im Gebrauch. S. 309.

H. Friedrich, Der Kerreffekt des Nitrobenzols in Benzol. S. 318.

M. Knoll und F. Schröter, Elektronische Bild- und Zeichenübertragung mit Isolator- bzw. Halbleiterschichten. S. 330.

K. Böhm, Über die azimutale Intensitätsverteilung der Röntgenbremsstrahlung. S. 334.

Berichte:

J. Fischer, Zur Bedeutung der international vereinbarten Änderung der elektromagnetischen Einheiten. Eine Übersicht. S. 336.

Nachtrag zum Vorlesungsverzeichnis für das Sommerhalbjahr 1937. S. 345.

Nachrichten. S. 348.

ABHANDLUNGEN.

Beobachtungen an Armbanduhren im Gebrauch.

Von W. Keil und K. Hild.

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Über die Gangleistungen und die Dauer gleichwertiger Leistung von Armbanduhren im Gebrauch bestehen nur allgemeine Anschauungen, gesicherte Kenntnisse fehlen. Die in der vorliegenden Abhandlung dargelegten Beobachtungen wurden in der Absicht unternommen, zahlenmäßige Unterlagen über die Zuverlässigkeit zu gewinnen, mit der Armbanduhren einer besseren Gütestufe die Aufgabe der Zeitanzeige erfüllen.

Beschreibung der Armbanduhren.

Es wurden nur Herrenarmbanduhren beobachtet, die einen Sekundenzeiger besaßen. Alle Uhren entstammen der Reihenherstellung. Zu ihrer näheren Kennzeichnung dienen folgende Angaben:

Sorte A: Formwerke mit Teilen von $10^1/_2$liniger Größe ($10^1/_2$ Linien entsprechen 23,63 mm) mit vergrößertem Federhaus und vergrößerter Unruhe; 15 Steine; flache Nivaroxspirale und unaufgeschnittene Neusilberunruhe.

Sorte B: $10^1/_2$linige, runde Werke; 15 Steine; flache Stahlspirale und unaufgeschnittene Neusilberunruhe.

Sorte C: $10^1/_2$linige, runde Werke; 15 Steine; flache Nivaroxspirale und unaufgeschnittene Neusilberunruhe.

Sorte D: $10^1/_2$linige, runde Werke; 15 Steine; flache Nivaroxspirale und unaufgeschnittene Neusilberunruhe.

In den Werken der Uhrensorten A, C und D waren die Passungsverhältnisse und Eingriffe und die Oberflächenbeschaffenheit durch Nachbearbeitung in einen besseren Zustand gebracht, als er sich in der Reihenherstellung erreichen läßt.

Prüfung der Armbanduhren.

Vor dem Tragen wurden die Armbanduhren unter verschiedenen Bedingungen beobachtet. Von den Ergebnissen braucht im Hinblick auf die weiteren Beobachtungen der Uhren im Gebrauch nur erwähnt werden, daß sich recht verschieden große Lagenunterschiede zwischen den einzelnen Uhren ergaben[1]). Mit wenigen Ausnahmen waren die Armbanduhren so eingeregelt, daß der tägliche Gang keinen günstigen Wert im Tragen annahm. Deshalb wurde im Beginn einer Beobachtungsreihe durch Verstellen des Ruckers ein möglichst kleiner täglicher Gang angestrebt.

Durchführung der Beobachtungen.

Die Armbanduhren wurden Versuchsteilnehmern übergeben, die als Wissenschafter, als Techniker oder als Bürobeamte tätig waren. Wesentliche Unterschiede in den Gebrauchsbedingungen dürfen in der Zahl der Bewegungen (Erschütterungen), geringere Unterschiede in dem Verlauf der täglichen Temperaturkurve

1) Siehe dazu Schlötzer, Gangleistungen deutscher Armbanduhren, Deutsche Uhrmacher-Ztg. **60**, 289, 307, 318, 1936.

angenommen werden. Hierüber können nur allgemeine Aussagen gemacht werden, weil die Feststellung der Einwirkung äußerer Faktoren auf die Uhren nicht im Plan der Beobachtungen lag, infolgedessen nur so weit einbezogen werden kann, wie es die Angaben der Versuchsteilnehmer zulassen.

Drei Armbanduhren wurden durch häufige Standbestimmungen am Tag überwacht, wobei als Vergleichsuhren gute Taschen- oder Deckuhren dienten, deren Gang durch regelmäßige Zeitzeichenbeobachtungen festgestellt wurde. Durch dieses Verfahren ließen sich die Gänge während des Tragens und während der Nacht, wenn die Uhren abgelegt waren, gesondert erfassen. Bei allen anderen Armbanduhren wurde nur eine Standbestimmung am Tage, und zwar mittags, vorgenommen. Die Mehrzahl der Beobachtungsreihen konnte so lange durchgeführt werden, bis die Leistung einer Uhr zu sehr nachließ.

Über die Behandlung der Armbanduhren waren den Versuchsteilnehmern zwei Vorschriften gemacht, nämlich die Uhren nachts abzulegen und sie frühmorgens aufzuziehen, im übrigen sollte sich die Behandlung in keiner Weise von der im praktischen Gebrauch üblichen unterscheiden.

Auswertung der Beobachtungen.

Zur Kennzeichnung der Gangleistungen der Armbanduhren wurden der mittlere tägliche Gang und die mittlere tägliche Gangabweichung gebildet. Der mittlere tägliche Gang wurde nach der Formel

$$\bar{g} = \frac{s_n - s_0}{n}$$

berechnet, worin s_n der Uhrstand am letzten Tag, s_0 der am ersten Tag der Beobachtungsreihe ist, n also die Anzahl der Tage, an denen die Stände aufgenommen wurden. Die tägliche Gangabweichung wird nach der Formel

$$a_i = g_i - \bar{g}$$

gebildet, die mittlere tägliche Gangabweichung ergibt

$$\bar{a} = \frac{\sum a_i}{\sqrt{n(n-1)}};$$

bei großem n kann der Wurzelausdruck n gleichgesetzt werden.

Bei der Bildung der Mittelwerte von Gang und Gangabweichung wurden wenige extreme Einzelwerte ausgelassen. Auch wenn die Uhr nicht die übliche Behandlung erfahren hatte, sei es infolge einer Krankheit des Versuchsteilnehmers, sei es daß sie zu spät aufgezogen oder nicht getragen worden war, wurden Gang und Gangabweichung nicht einbezogen.

Für die Bevorzugung der Gangabweichung vor der Gangschwankung, die meist als das Maß für die Regelmäßigkeit des Ablaufs einer Uhr gewählt wird, waren zwei Gründe maßgebend. Die Werte der täglichen Gänge enthalten bei den Armbanduhren noch sämtliche Wirkungen äußerer Einflüsse. Deren Abtrennung läßt sich nicht vornehmen, weil Art und Größe der Einwirkungen noch unbekannt ist. Daher erscheint es sinnvoller, nicht wie bei der Bildung der Gangschwankung einen täglichen Gang auf den vorhergehenden zu beziehen, sondern auf den mittleren Gang, der sich aus der Gesamtheit nicht nur der vom Werk herrührenden, sondern auch der durch äußere Einwirkungen herbeigeführten Standänderungen ergibt.

Bei den Armbanduhren, deren Gang getrennt nach Trage- und Liegezeiten bestimmt wurde, sollte jeweils für die beiden Zeitspannen gesondert ein Maß für die Gleichförmigkeit des Verhaltens der Uhren gegeben werden, wobei die über wechselnde Zeiten beobachteten Standänderungen auf tägliche Gänge (Standänderungen in 24 Stunden) umgerechnet wurden. Da unzusammenhängende Zeitspannen verglichen werden, bleibt nur die Bildung der Gangabweichungen.

Ergebnisse der Beobachtungen.

Entsprechend der Ausführlichkeit der Gangbeobachtungen werden die drei Armbanduhren, deren Stände mehr als einmal am Tage bestimmt wurden, in weiterem Rahmen behandelt und darauf ein Überblick über die Gangleistungen der anderen Uhren unter Hinweisen auf bemerkenswerte Einzelbeobachtungen gegeben. Die Uhren werden dabei mit dem Serienzeichen (A, B, C, D) und einer in der Serie fortlaufenden Ziffer bezeichnet.

Die Gangbeobachtungen an der Armbanduhr A 1 sind in der Abb. 1 dargestellt. Die Stände sind nach einem eingezeichneten Maßstab eingetragen und während der Tragezeiten mit einer ausgezogenen Linie, während der Nachtzeiten mit einer gestrichelten Linie verbunden. Nach je vier Wochen ist die Gangkurve abgebrochen und, weil es nicht auf den absoluten Stand, sondern nur auf Standänderungen ankommt, mit beliebigem Nullpunkt wieder begonnen. Durch Pfeile ist angegeben, wann die Zeiger neu eingestellt wurden; die Gangkurven wurden in diesem Fall unmittelbar einander angeschlossen. Bei Beginn der Beobachtungsreihe fällt die Änderung der Neigung der Gangkurve auf. Irgendeinem äußeren Einfluß ist sie nicht zuzuschreiben, am ehesten damit zu erklären, daß

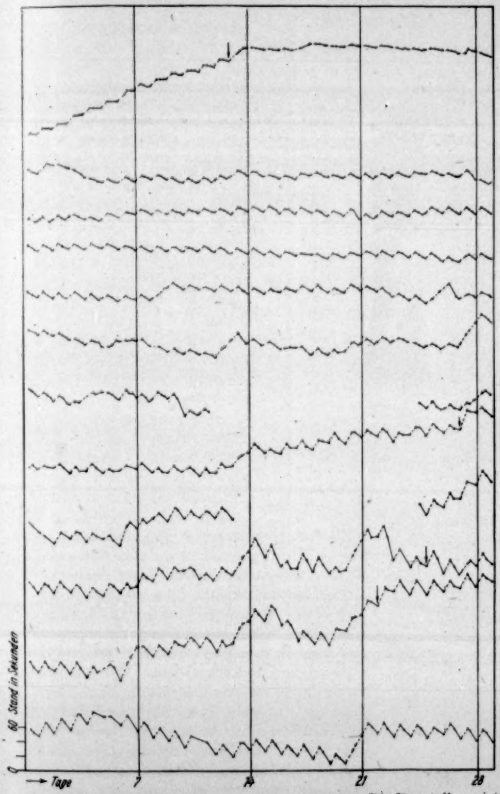


Abb. 1. Gangbeobachtungen an Armbanduhr A 1. Die Darstellung ist im Text erklärt; Anfangs- und Endstücke aufeinanderfolgender Kurvenabschnitte, die von oben nach unten zeitlich fortschreiten, überlappen sich. Auslassungen: Uhr nicht beobachtet.

die Uhr eine Einlaufzeit bis zu einem gleichbleibenden Zustand durchmacht. Beobachtungen an anderen Armbanduhren erlauben ebenfalls einen solchen Schluß. Wie zu erwarten war, geht die Uhr während des Tragens nach und nachts, in der Lage Zifferblatt oben liegend, vor, und zwar derart, daß der mittlere tägliche Gang sehr klein bleibt, wie die kaum merkliche Neigung der Gangkurve zeigt. Nach anfänglich sehr großer Gleichmäßigkeit werden die Kurven allmählich unregelmäßiger, ohne daß die Unregelmäßigkeiten ein Maß annehmen, das den praktischen Gebrauch beeinträchtigte. In der Kurve zeichnen sich einige Tage besonders ab, an denen die Uhr liegen blieb. Um die Veränderungen der Uhr übersichtlicher verfolgen zu können, wurden für jeden Monat die Mittelwerte der beobachteten Daten gebildet. Zahlentafel I gibt die Werte. In der Spalte unter g ist der mittlere tägliche Gang, unter a die mittlere tägliche Gangabweichung eingesetzt. Da es sich hier wie im folgenden immer um Mittelwerte handelt, wurde auf ihre besondere Kennzeichnung verzichtet. Der Index t deutet auf die entsprechenden Werte für die Tageszeit, in der die Uhr getragen wurde, der Index n auf diejenigen für die Nachtzeit, während der die Uhr abgelegt war. Eine zeichnerische Darstellung der Beobachtungsergebnisse ist in Abb. 2 gegeben. In dieser sind die Monatsmittel der täglichen Gänge durch Kreise, die Schwankungsgrenzen, gewonnen durch Zu- oder Abrechnung der Gangabweichungen, durch senkrechte, abgegrenzte Linien wiedergegeben, wie es bei der Fehlerdarstellung üblich ist. Die täglichen Werte geben die Linienzüge $g \pm a$; der Gang zeigt keine systematische Änderung, während die Gangabweichungen langsam zunehmen, wie es noch einmal deutlicher Abb. 5 zeigt. Die Linienzüge $g_t \pm a_t$ geben die Änderung der Gänge und Gangabweichungen im Tragen an, die Linienzüge $g_n \pm a_n$ diejenigen der abgelegten Uhr bei Nacht. Beide Gänge weichen zunächst wenig, dann immer stärker voneinander ab, doch in annähernd gleichem Maß, so daß der mittlere tägliche Gang von diesen fortlaufenden Veränderungen nur wenig erfaßt wird. Die Gangabweichungen der Tages- und Nachtgänge wachsen bis zum September an und ändern dann, wie die Gänge, ihren Wert nicht mehr in bestimmter Weise; aus ihrem Verhalten kann auf eine Änderung in der Art des täglichen Ablaufs der Uhr im Monat August geschlossen werden.

In der Zahlentafel I sind noch spätere Beobachtungen an der Armbanduhr A 1 ausgewertet, die nach einer gründlichen Durchsicht und

Zahlentafel I.

Gangleistungen der Armbanduhr A 1.

(Monatliche Mittelwerte in Sekunden.)

Zeitraum	g	a	g_t	a_t	g_n	a_n	Bemerkung
26. 11. — 8. 12. 1934 ..	− 8,3	1,9					
8. 12. 1934 — 1. 1. 1935 ..	+ 0,5	3,5					
1. 1. — 1. 2. 1935 ..	− 0,1	2,3	+ 10,8	2,5	− 13,8	4,2	
1. 2. — 1. 3. 1935 ..	+ 0,1	1,8	+ 12,7	2,2	− 18,0	3,2	
1. 3. — 1. 4. 1935 ..	+ 0,2	2,8	+ 12,7	2,8	− 15,6	2,9	
1. 4. — 2. 5. 1935 ..	+ 1,0	4,5	+ 13,8	3,2	− 11,5	4,8	
2. 5. — 6. 6. 1935 ..	− 0,1	4,5	+ 15,9	3,2	− 16,0	5,9	
6. 6. — 1. 7. 1935 ..	− 1,7	4,6	+ 16,0	5,5	− 21,7	6,6	
1. 7. — 1. 8. 1935 ..	− 0,3	3,7	+ 19,8	5,2	− 28,6	7,4	
1. 8. — 1. 9. 1935 ..	− 4,3	5,1	+ 28,1	8,1	− 38,6	8,3	
1. 9. — 1. 10. 1935 ..	− 1,6	5,6	+ 26,9	7,4	− 39,3	6,0	
1. 10. — 1. 11. 1935 ..	+ 3,1	6,0	+ 28,4	6,3	− 35,8	5,3	
5. 5. — 1. 6. 1936 ..	− 6,4	2,3	− 1,6	1,0	− 13,2	5,4	Werk nachgearbeitet u. frisch geölt
1. 6. — 1. 7. 1936 ..	− 4,9	1,9	+ 0,3	2,2	− 13,2	2,8	
1. 7. — 31. 7. 1936 ..	− 0,3	2,1	+ 5,3	2,3	− 8,2	5,9	
31. 7. — 1. 9. 1936 ..	± 0,0	2,2	+ 7,7	2,4	− 13,4	6,1	
1. 9. — 22. 9. 1936 ..	− 1,0	2,3	+ 3,3	2,1	− 8,2	6,0	
22. 9. — 11. 10. 1936 ..	+ 0,2	2,0	+ 5,8	1,8	− 7,6	3,8	Uhr nicht getragen
11. 10. — 31. 10. 1936 ..	− 2,6	3,5	+ 4,7	1,8	− 15,6	6,4	
31. 10. — 1. 12. 1936 ..	− 4,8	2,5	+ 0,7	1,8	− 13,4	6,3	
1. 12. — 31. 12. 1936 ..	− 2,5	1,7	+ 1,1	1,7	− 8,0	4,3	

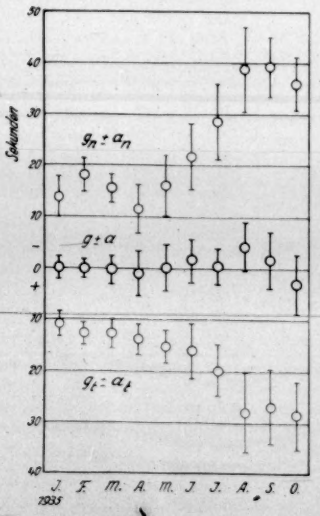


Abb. 2. Monatliche Mittelwerte von Gang und Gangabweichung der Armbanduhr A 1. Erklärung: g, a: mittlere(r) tägliche(r) Gang bzw. Gangabweichung; g_t, a_t: mittlere(r) Gang bzw. Gangabweichung der getragenen Uhr; g_n, a_n: mittlere(r) Gang bzw. Gangabweichung der abgelegten Uhr.

Nachbearbeitung sowie Neuölung der Uhr gemacht wurden. Im Gegensatz zum ersten Zustand des Werkes ändern sich weder Gang noch Gangabweichung mit der Zeit; die Gangabweichungen sind kleiner als vor der Durchsicht. Der Unterschied zwischen den Tages- und Nachtzeiten ist ebenfalls geringer, was auf eine bessere Einregelung der Uhr in den Lagen – für das Tragen Zwölf unten, für das Liegen Zifferblatt oben – und eine geringere Temperaturempfindlichkeit zurückzuführen ist, die durch ein besseres Einrichten der Endstücke der Spirale erzielt werden kann. Das Fehlen einer systematischen zeitlichen Änderung kann wohl der Benutzung eines anderen Öles zugeschrieben werden, das sich weniger schnell als das erstbenutzte ändert.

Bemerkenswert sind noch die Gangeigenschaften der Uhr, wenn sie tags, statt getragen zu werden, in der Lage Zwölf unten aufgehoben wurde, wobei die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht innerhalb weniger Grade lagen. Unterschiede im Verhalten der Uhr zwischen Tragen und ruhiger Aufbewahrung ergaben sich nicht. Daraus muß gefolgert werden, daß Erschütterungen keinen irgendwie bemerkenswerten Einfluß auf das Werk ausüben, was sich bei allen Armbanduhren aus verschiedenen Beobachtungen bestätigen ließ[1]).

1) Dasselbe Ergebnis erhielt schon Schlötzer (siehe Fußnote S. 309) an Armbanduhren auf einer Schüttelmaschine.

— In der gleichen Darstellung, wie sie Abb. 1 gibt, sind die Gangbeobachtungen für die Armbanduhr A 2 in Abb. 3 wiedergegeben. In den ersten Monaten konnten die Beobachtungen nicht vollständig ausgestaltet werden. Während der ersten Tage zeigt die Uhr einen kleinen nachbleibenden Gang, der dann plötzlich größer wird. Nach etwa zwei Monaten wird der tägliche Gang wieder kleiner; von diesem Zeitpunkt an bleibt die Uhr in langsam steigendem Maße nach, wie die Werte in Zahlentafel II und Abb. 4 noch einmal deutlicher erkennen lassen. Auch bei den mittleren täglichen Gangabweichungen zeigt sich eine entsprechende Veränderung, nach den ersten beiden Monaten, für die die Werte auch bei der Armbanduhr A 1 abgesondert liegen, nehmen die Gangabweichungen langsam zu, s. Abb. 5. Während aber bei der Uhr A 1 sich nur diese stetig ändern, ändern sich bei der Uhr A 2 Gang und Gangabweichungen zugleich, ein Beobachtungsergebnis, das die Mannigfaltigkeit der Einflüsse der Werksbeschaffenheit betont. In den Gängen im Tragen und in der Nacht zeigt sich bei der Uhr A 2 eine stetige Verlangsamung, wobei in den Werten der nächtlichen Gänge sich die jahreszeitliche Änderung der Temperatur deutlich widerspiegelt. Dagegen weisen die Gangabweichungen keinen Gang mit der Zeit auf. Bei einer stetigen Veränderung

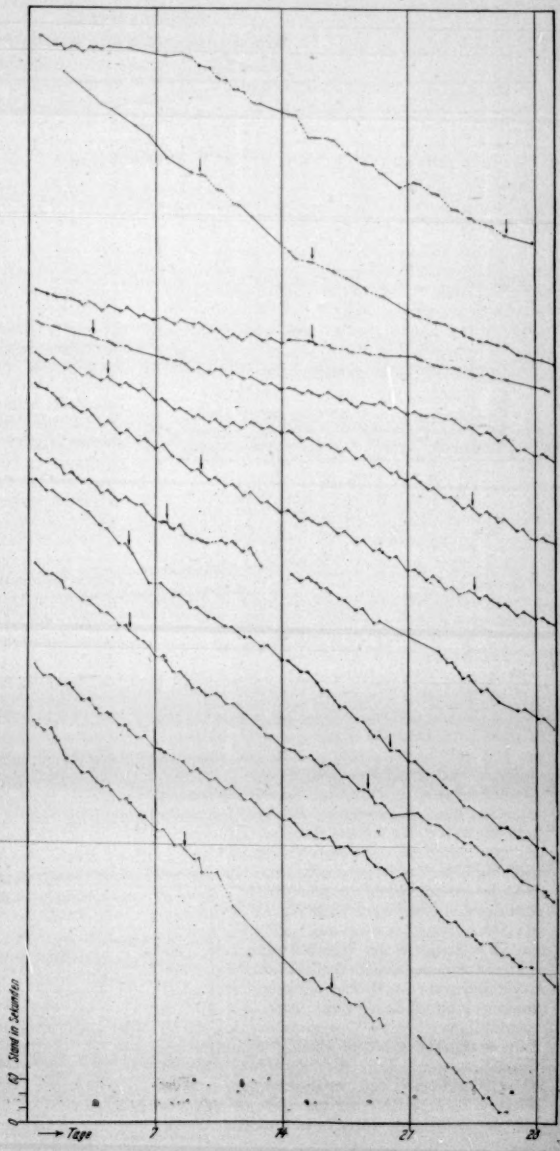


Abb. 3. Gangbeobachtungen an Armbanduhr A 2. Darstellung wie in Abb. 1, jedoch sind ausgezogene Linien auch bei geringer Zahl von Standbeobachtungen angewendet. Unterbrechungen: Uhr stehen geblieben.

Zahlentafel II.

Gangleistungen der Armbanduhr A 2.

(Monatliche Mittelwerte in Sekunden.)

Zeitraum	g	a	g_t	a_t	g_n	a_n	Bemerkung
27. 11.—4. 12. 1934	+ 1,9	1,5					Beobachtungen zunächst unvollständig
4. 12.—31. 12. 1934	+ 16,2	2,5	+ 9,4	4,1			
1. 1.—1. 2. 1935	+ 11,1	4,7	+ 11,8	4,2			
1. 2.—1. 3. 1935	+ 5,1	2,1	+ 12,6	2,3			
1. 3.—1. 4. 1935	+ 7,1	2,6	+ 15,8	3,3	− 9,2	3,6	
1. 4.—30. 4. 1935	+ 11,6	3,0	+ 23,2	3,0	− 8,3	2,9	
30. 4.—1. 6. 1935	+ 11,6	3,5	+ 22,2	4,3	− 7,2	4,0	
1. 6.—1. 7. 1935	+ 18,0	3,3	+ 27,1	4,4	− 0,9	4,0	
1. 7.—1. 8. 1935	+ 16,2	4,1	+ 26,3	3,5	+ 2,7	3,7	
1. 8.—2. 9. 1935	+ 15,3	3,5	+ 28,7	3,7	− 2,4	3,2	
2. 9.—28. 9. 1935	+ 22,4	4,6	+ 32,6	7,3	− 1,3	3,9	

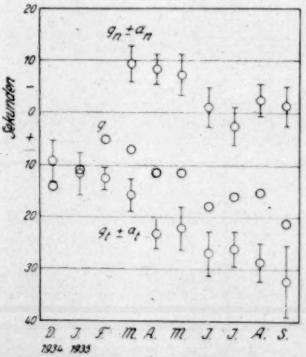


Abb. 4. Monatliche Mittelwerte von Gang und Gangabweichung der Armbanduhr A 2. (Die mittleren täglichen Gangabweichungen sind der guten Übersichtlichkeit halber nicht eingezeichnet; sie können Zahlentafel II entnommen werden.)

nach der Reparatur unterscheiden sich nicht wesentlich. Dagegen zeigen sich bei genauerer Auswertung ganz außerordentlich große Verschiedenheiten in der Temperatur- und Lagenempfindlichkeit, die in den Gängen im Tragen und während der Nacht zum Ausdruck kommen. Diese Beobachtung beweist, daß eine tägliche Standbestimmung zwar für den praktischen Gebrauch einer Armbanduhr eine ausreichende Kennzeichnung liefert, jedoch über das Zustandekommen der Gangleistung nichts aussagen kann. Vielmehr ist es bei der Möglichkeit äußerer wirksamer Einflüsse notwendig, diese durch eingehende Feststellungen in das Leistungsbild einzubeziehen.

Für die Armbanduhren der Sorte B sind die ermittelten Gänge und Gangabweichungen in Zahlentafel IV angegeben. Bei drei Uhren wurden nicht die ganzen Versuchsreihen gemittelt, weil sich der Gang stärker vergrößerte, als es die Herstellungsbestimmungen zulassen. Die mittleren täglichen Gangabweichungen sind im Verhältnis zu den täglichen Gängen groß, wofür des mittleren täglichen Ganges ist die Mittelbildung der Gangabweichungen über die gesamte Beobachtungszeit nicht zulässig. In allen solchen Fällen wird der Mittelwert aus den Monatsmitteln gebildet. Bei der Armbanduhr A 2 ergibt sich der kleinste beobachtete Wert 3,4 Sekunden, der auf eine sehr gute Leistung in der Herstellung und Einregelung des We[illegible]t.

Eingehende Beobachtungen wurden schließlich an einer Armbanduhr der Sorte C gemacht. Zahlentafel III gibt ein Bild der Gangleistungen. Die Uhr mußte wegen Verbiegung der Unruhachse durch Stoß repariert werden. Die mittleren täglichen Gänge vor und

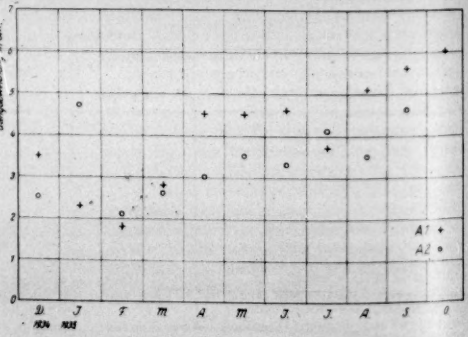


Abb. 5. Monatliche Mittelwerte der Gangabweichungen der Armbanduhren A 1 und A 2 in Abhängigkeit von der Zeit.

Zahlentafel III.
Gangleistungen der Armbanduhr C 1.
(Monatliche Mittelwerte in Sekunden.)

Zeitraum	g	a	g_t	a_t	g_n	a_n	Bemerkung
13. 10.— 1. 11. 1935	+ 8,1	7,3	+ 13,0	10,8	— 1,9	5,1	
1. 11.— 1. 12. 1935	+ 0,9	4,0	+ 5,4	2,5	+ 1,9	4,3	
1. 12.—16. 12. 1935	+ 2,6	6,4	— 1,4	7,7	+ 1,0	4,8	
21. 1.—31. 1. 1936	— 0,6	2,6	— 21,9	3,4	+ 26,3	8,8	Unruhe erneuert
31. 1.— 1. 3. 1936	+ 2,5	8,5	— 17,4	6,6	+ 32,3	8,8	
1. 3.— 1. 4. 1936	+ 0,4	4,9	— 21,3	5,5	+ 32,2	6,4	
1. 4.— 1. 5. 1936	— 0,5	4,3	— 23,5	7,4	+ 30,5	8,2	

zwei Ursachen maßgebend sind. Einmal sind die Werke, wie schon erwähnt wurde, nicht so sorgfältig wie die der anderen Sorten nachgearbeitet, sodann enthalten die Werke Stahlspiralen, die eine hohe Temperaturempfindlichkeit besitzen.

Zahlentafel IV.
Gangleistungen der Armbanduhren von Sorte B.
(Gesamtmittelwerte in Sekunden.)

Uhr	Beobachtungszeit	g	a
B 1	9. 1. — 8. 3. 1935	+ 4,5	21,9
B 2	7. 1. — 18. 7. 1935	+ 10,4	13,6
B 3	7. 1. — 4. 6. 1935	— 6,5	26,7
B 4	22. 12. 1934 — 27. 5. 1935	— 4,8	19,9

Bei einem Temperaturunterschied von einem Grad ändert sich bei ihnen der tägliche Gang um 11–12 Sekunden, dagegen beträgt bei Nivaroxspiralen diese Änderung je nach Herstellung nur 0,5–5 Sekunden, wobei die Empfindlichkeit innerhalb einer Serie wenig schwankt. Die Auswirkung dieser Eigenheiten, worin auch der stark untereinander abweichende Gangunterschied in den Lagen, in denen sich die Uhren im Tragen und im Liegen befinden, zum Ausdruck kommt, läßt sich aus Zahlentafel V erkennen, in die auch in anderem Zusammenhang durchgeführte Beobachtungen aufgenommen sind. Verfolgt man die Gangleistungen einer Armbanduhr der Sorte B, wie es in Zahlentafel VI für die Uhr B 3 geschieht, so machen sich einzelne, um vieles abweichende Werte sowohl bei dem mittleren täglichen Gang als auch bei der mittleren täglichen Gangabweichung bemerkbar. Nach fünf Monaten verzögert sich der Gang sehr stark; ob sich dies auf einen gröberen Fehler zurückführen läßt, scheint bei der Möglichkeit, den Gang durch die Verstellung des Ruckers zu ändern, zweifelhaft.

Zahlentafel V.
Unterschied zwischen Tages- und Nachtgängen.

Art der Uhren	$g_n - g_t$ in Sekunden	
	Einzelwerte	Mittel
Stahlspirale	— 193, — 108, — 122, — 141	141
Nivaroxspirale.....	— 55, + 34, + 13, — 11, + 8 — 44, — 30	28

Zahlentafel VI.
Gangleistungen der Armbanduhr B 3.
(Monatliche Mittelwerte in Sekunden.)

Zeitraum	g	a	Bemerkung
7. 1.— 1. 2. 1935..	— 4,8	27,9	
1. 2.— 1. 3. 1935..	— 4,8	23,4	
1. 3.— 1. 4. 1935..	+ 0,4	25,6	
1. 4.— 2. 5. 1935..	— 6,5	35,9	
2. 5.— 4. 6. 1935..	— 5,3	20,8	
4. 6.— 1. 7. 1935..	+ 48,7	16,0	
11. 7.—19. 7. 1935..	+ 53,0	22,2	19. 7.—14. 8. 1935 Urlaub des Versuchsteilnehmers
14. 8.—26. 8. 1935..	+ 39,9	16,0	
8. 11.— 2. 12. 1935..	— 6,3	12,2	Rucker verstellt
2. 12.—21. 12. 1935..	— 15,7	28,0	

Infolge der starken Temperaturempfindlichkeit prägen sich die Lebensgewohnheiten des Versuchsteilnehmers deutlich in dem Gang der Armbanduhren mit Stahlspirale aus. Als Beispiel sei dafür angeführt, daß bei der Uhr B 3 der mittlere tägliche Gang an Sonntagen — 19,7 Sekunden, im Mittel über alle Tage — 6,5 Sekunden betrug, wobei die Beobachtung bei 129 Tagen 23 Sonntage erfaßte.

Die Gangleistungen der Armbanduhren der Sorte C mit Ausnahme der Uhr C 1, die bereits behandelt wurde, lassen sich aus Zahlentafel VII entnehmen. Dabei fällt auf, daß bei den Uhren C 2 und C 3 Gangänderungen eintreten. Bei der Uhr C 3 ist einmal der Rucker verstellt, in den beiden anderen Fällen handelt es sich aber um Gangänderungen, deren Ursache nicht erkennbar ist. Mit dem Gang änderten sich auch jedesmal die Gangabweichungen. Die Uhr C 2 mußte zweimal entmagnetisiert werden; nach dieser Behandlung stellte sich der ungestörte Gang wieder ein. Im magnetisierten Zustand blieb die Uhr von Tag zu Tag stärker, bis zu mehreren Minuten, zurück. Bei der Uhr C 3 traten im Juli

Zahlentafel VII.

Gangleistungen der Armbanduhren der Sorte C. (Gesamt- oder Teilmittelwerte in Sekunden.)

Uhr	Beobachtungszeit	g	a	Bemerkung
C 2	a) 30. 11. 1934—13. 5. 1935	+ 5,0	3,5	
	b) 13. 5. — 5. 12. 1935	+ 23,2	6,5	
C 3	a) 18. 12. 1934—24. 3. 1935	— 19,4	4,2	
	b) 24. 3. —17. 7. 1935	— 11,8	6,0	24. 3. Rucker verstellt
	c) 25. 7. —25. 9. 1935	— 0,2	7,3	
C 4	25. 1. —21. 12. 1935	— 18,3	5,8	
C 5	7. 1. —21. 12. 1935	— 12,1	10,9	

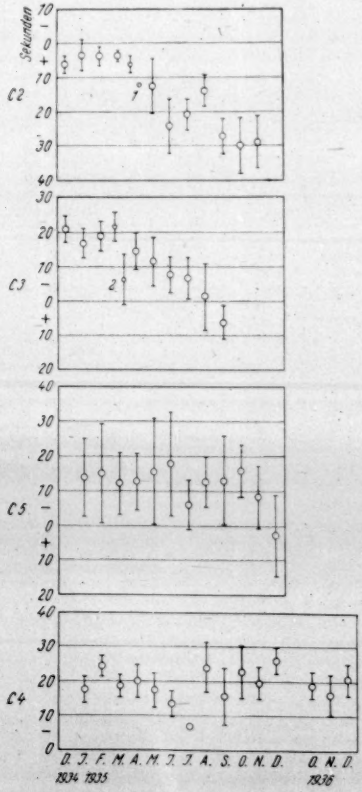


Abb. 6. Monatliche Mittelwerte von Gang und Gangabweichung der Armbanduhren der Sorte C. Erläuterungen: Zu 1: Mittel nicht über ganzen Monat gebildet, da in der Urlaubszeit des Versuchsteilnehmers während der zweiten Monatshälfte stark veränderter Gang der Uhr.
Zu 2: Rucker verstellt.

unvermittelt einige sehr stark abweichende Gänge von + 41,5 Sekunden auf, wonach die Gangänderung der Uhr erfolgte.

Die Armbanduhr C 4 weist eine außerordentlich gleichmäßige Leistung auf, wie Abb. 6 deutlich zeigt. Bei keiner anderen Armbanduhr hielten sich Gang und Gangabweichung derart lange Zeit hindurch wie bei der Uhr C 4. Vielmehr werden die Gangleistungen schon nach einigen Monaten ungleichmäßig und nach 6 bis 12 Monaten unbefriedigend. Um festzustellen, woran das liegt, wurde ein großer Teil der Versuchsuhren untersucht. In zahlreichen Lagern war das Öl verdickt oder verlaufen, eine Feststellung, gegen die die anderen Befunde von untergeordneter Bedeutung sind. Das Verderben des Öles kann noch eine Verschmutzung der nicht immer ausreichend geschützten Werke beschleunigen. Aus diesem Befund erhellt die Bedeutung der Wahl des richtigen Öles und der richtigen Ausbildung der Lager (Halten des Öles).

Auch bei der Uhr C 5 bleibt der Gang bis auf die letzten Monate gleich, in denen die Uhr stark nachbleibt, während bei den Uhren C 2 und C 3 eine stetige Verzögerung des Ganges auftritt. Die monatlichen Mittelwerte der Gangabweichungen streuen mehr als bei den Armbanduhren der Sorte A, doch scheint ein allgemeines Anwachsen der Gangabweichungen mit fortschreitender Beobachtungszeit bemerkbar.

Die Abhängigkeit von äußeren Einflüssen, also von den Lebensgewohnheiten, kann an der Armbanduhr C 4 deutlich dargestellt werden. In einer Krankheitsepoche des Versuchsteilnehmers, in der die Uhr wenig getragen wurde, betrug der tägliche Gang — 35,6 Sekunden, während der mittlere tägliche Gang der gesamten Beobachtungszeit — 18,3 Sekunden war. Während der Urlaubszeit des Versuchsteilnehmers im Juli hatte die Uhr dagegen einen Gang von nur — 7 Sekunden. Auch die Sonntage zeigten einen abweichenden Mittelwert, nämlich — 23,5 Sekunden bei 34 Sonntagen in 213 Beobachtungstagen.

Die Gangleistungen der Armbanduhren der Sorte D lassen sich aus der Zahlentafel VIII

Zahlentafel VIII.

Gangleistungen der Armbanduhren der Sorte D. (Gesamtmittelwerte in Sekunden.)

Uhr	Beobachtungszeit	g	a	Bemerkung
D 1 ..	15. 5.—28. 9. 1935	+ 26,1	19,6	
D 2 ..	17. 6.—18. 12. 1935	+ 28,9	20,5	
D 3 ..	6. 5.—11. 9. 1935	+ 8,5	11,4	
D 4 ..	9. 5.— 4. 12. 1935	+ 20,7	13,8	
D 5 ..	8. 5.—19. 12. 1935	+ 11,3	9,0	s. Text und Zahlentaf. X

entnehmen. Einige Uhren haben verhältnismäßig große Gänge, obwohl im Beginn der Beobachtungsreihen durch Verstellen des Rukkers versucht worden war, einen möglichst kleinen Gang einzustellen. Nach jeweils wenigen Tagen änderte sich dieser jedoch und nahm den in der Zahlentafel VIII verzeichneten Wert an. Die Gangabweichungen ordnen sich in ihrer Größe ungefähr den Gängen zu. Bei Bildung der monatlichen Mittelwerte werden starke Schwankungen von Monat zu Monat sichtbar, wie sie für die Uhr D 4 Zahlentafel IX wiedergibt. Äußeren

Zahlentafel IX.

Gangleistungen der Armbanduhr D 4. (Monatliche Mittelwerte in Sekunden.)

Zeitraum	g	a
9. 5.—29. 5. 1935.....	+ 4,0	8,2
4. 6.— 4. 7. 1935.....	+ 21,4	11,6
6. 8.—29. 8. 1935.....	+ 15,5	13,6
29. 8.—28. 9. 1935.....	+ 34,5	16,7
28. 9.—15. 10. 1935.....	+ 20,6	—
15. 10.— 1. 11. 1935.....	+ 18,6	8,0
1. 11.— 4. 12. 1935.....	+ 10,1	11,9

Einwirkungen lassen sie sich nicht zuschreiben, sie dürften Änderungen im Werkszustand entsprechen, die nur mittelbar durch die Bedingungen des Gebrauchs hervorgerufen werden. Wieweit die Beschaffenheit des Werkes Einfluß auf das Gangbild gewinnen kann, zeigt Armbanduhr D 5; da diese Uhr einen großen Gangunterschied in den Lagen aufwies, ergaben sich recht verschiedene Gänge je nach der Art, wie die Uhr nachts aufbewahrt wurde. Die Werte aus den Beobachtungszeiten, in denen diese Aufbewahrung gleichmäßig war, sind in Zahlentafel X eingetragen.

Zahlentafel X.

Lageneinfluß bei der Armbanduhr D 5.

Lage der Uhr bei Nacht	g in Sekunden	Zahl der Tage
Zifferblatt unten	+ 11,3	147
Krone oben	+ 48,9	74

Zusammenfassung.

Nach den Beobachtungen ist die Gangleistung von Armbanduhren, die im wesentlichen durch ein 15-steiniges Werk mit unaufgeschnittener Unruhe gekennzeichnet sind, abhängig von der Herstellung und Bearbeitung des Werkes und der Einwirkungsmöglichkeit äußerer Einflüsse. Die Güte der Werksbeschaffenheit bestimmt neben den Lagenunterschieden vor allem die Regelmäßigkeit des Ablaufs des Werkes, als deren Maß die Größe der Gangabweichungen gewählt ist. Von äußeren Einflüssen hat nur die Temperatur Bedeutung: für die Größe ihrer Wirkung ist selbstverständlich Werkstoff und Beschaffenheit von Unruhe und Spirale maßgebend. Durch die Temperatur werden die Gangleistungen von den Lebensgewohnheiten abhängig, wenn nicht, wie bei den Armbanduhren der Sorte A, die Güte der Werke äußere Einflüsse weitgehend unwirksam werden läßt, während andererseits die aus der Werksbeschaffenheit folgenden Gangabweichungen die von außen der Uhr aufgezwungenen Schwankungen überdecken, wie ebenfalls beobachtet wurde. Niemals wurde eine merkliche Beeinflussung des Ganges durch Erschütterungen gefunden.

Für Beobachtungen folgt aus den Feststellungen, daß es bei der Möglichkeit von äußeren Einwirkungen notwendig ist, diese in das Leistungsbild einer Armbanduhr einzubeziehen.

Die Bedeutung der Werksbeschaffenheit für die Gangleistungen der Armbanduhren wird durch Abb. 7 klargelegt. In ihr sind für jede Uhr

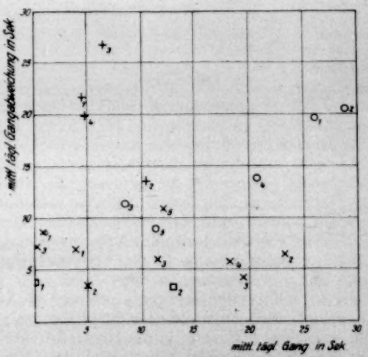


Abb. 7. Gang und Gangabweichung aller beobachteten Armbanduhren. Erklärung: Armbanduhren gekennzeichnet durch Serienzeichen und Ziffer: A □, B +, C ×, D ○. Für die Uhren C 1, C 2 und C 3 sind mehrere Gangzeiten berücksichtigt.

der mittlere tägliche Gang nach seinem absoluten Betrag und die mittlere tägliche Gangabweichung in Beziehung zueinander gebracht, ohne damit etwas über den wahren Zusammenhang beider Größen aussagen zu wollen. Die einzelnen Serien heben sich deutlich voneinander ab, freilich ist die Zahl der Uhren für abschließende Feststellungen zu gering; kleine Gangabweichungen weisen die Uhren der Sorten A und C auf, Sorte B zeigt bei kleineren Gängen größere Gangabweichungen, während bei den Uhren der Sorte D sich eine größenmäßige Zuordnung von Gang und Gangabweichung ergibt.

Die Leistung der Armbanduhren kann bei der Kleinheit der Werke und der — instrumententechnisch gesehen — ungünstigen Art, getragen zu werden, sehr beachtlich sein. Nur in wenigen Fällen bleibt sie über längere Zeiten gleich, in der Regel ändert sie sich langsam, was meist auf eine Änderung in der Beschaffenheit des Öles zurückzuführen sein dürfte. Die zeitliche Grenze einer bestimmten Leistungsfähigkeit wird durch Verdicken oder durch Verlaufen des Öles gesetzt.

Berlin-Charlottenburg, 2. März 1937.

(Eingegangen 17. März 1937.)

Der Kerreffekt des Nitrobenzols in Benzol.

Von Hans Friedrich[1]).

Inhaltsverzeichnis.

1. Einleitung. — 2. Theorie des Kerreffektes. — 3. Experimenteller Teil: a) Reinigung des Nitrobenzols und Benzols; b) Lösungsherstellung und Konzentrationsbestimmung; c) Apparatur; d) Messungen. — 4. Meßergebnisse und Diskussion. — 5. Zusammenfassung. — 6. Literaturverzeichnis.

Einleitung.

Während einerseits bei Gasen eine sehr weit ausgebaute Molekulartheorie existiert, die in ausgezeichneter Weise hier alle Eigenschaften wiedergibt und während andererseits eine entsprechende Theorie für die Kristalle, die wir ja als Normalform des festen Aggregatzustandes ansehen können, sehr weit entwickelt ist, kann von einer eigentlichen Molekulartheorie der Flüssigkeiten im abschließenden Sinn überhaupt noch nicht gesprochen werden. Zwar fehlt es nicht an mehr oder weniger erfolgreichen Ansätzen auf dem einen oder anderen Teilgebiet. Wir brauchen z. B. nur auf die Übertragung der für die Molekularpolarisation und den Kerreffekt bei Gasen geltenden Gesetzmäßigkeiten auf die Methode der sog. „polaren Lösungen" hinzuweisen, einer Methode, die von Otterbein (1) und Sachße (2) im Fall des Kerreffektes so erfolgreich angewendet wurde.

Was aber bis in die letzten Jahre hinein allen Bemühungen zu trotzen schien, war das riesige Gebiet der gegenseitigen Beeinflussung der Moleküle in Flüssigkeiten, d. h. im weitesten Sinn des Wortes das Gebiet der Assoziationserscheinungen. Auch hier hat es natürlich nicht an Versuchen gemangelt, die Assoziation formelmäßig zu erfassen. Wir erinnern nur an die Arbeiten von Keyes und Kirkwood (3), die eine allgemeinere Ableitung des Faktors des inneren Feldes auf statistischer Grundlage versuchten. Die gleiche Tendenz, den Faktor $\frac{4\pi}{3}$ abzuändern, liegt ferner den Arbeiten von Malsch (4) und auf rein empirischem Wege den Arbeiten von van Arkel und Snoek (5) zugrunde. So interessant all diese Ansätze nun auch sind, so ist ihnen außer recht achtbaren Teilergebnissen der letzte Erfolg verwehrt geblieben. Erst in der letzten Zeit scheint es Debye (6) gelungen zu sein, mit seinen Betrachtungen über „die Rotation der Moleküle in Flüssigkeiten" tiefer in das ganze Problem einzudringen. Wir werden an geeigneter Stelle darauf zurückkommen.

Im Hinblick auf dieses überaus interessante Gebiet der Assoziationserscheinungen wies Debye (7) darauf hin, daß vielleicht vor allen Dingen Kerreffektmessungen ein sehr empfindliches Reagens für solche Wechselwirkungen der Moleküle untereinander bilden könnten. Als Beispiel für die Berechtigung dieser Annahme mag auf eine Bemerkung aufmerksam gemacht werden, die Debye (6) bei seinen schon oben zitierten Betrachtungen über „die Rotation der Moleküle in Flüssigkeiten" über Kerreffektmessungen von Otterbein (1) gemacht hat.

Otterbein hat bekanntlich u. a. den Kerreffekt des Monochlorbenzols in Hexan gemessen und dabei einen um 12,6 Proz. kleineren Wert gefunden im Vergleich zu dem Wert, den Stuart (8) für die gleiche Substanz im gasförmigen Zustand angibt. Debye führt nun gerade diesen Unterschied auf eine gegenseitige Beeinflussung der Moleküle — und zwar hier der Moleküle des Lösungsmittels mit den Molekülen des gelösten Stoffes — zurück, was sich in einer Behinderung der freien Rotation kundtut.

Fügen wir dem noch hinzu, daß auch Otterbein (1) selbst bei seinen Messungen an verdünnten Lösungen auf eine sehr starke Abhängigkeit des Kereffektes vom Lösungsmittel hinweist und deuten wir in gleicher Weise wie oben nach Debye diesen Befund als eine Wechselwirkung des Lösungsmittels mit dem gelösten Stoff, so wird damit der Hinweis von der

1) Gekürzte Leipziger Dissertation.

möglichen Verwendbarkeit des Kerreffektes zur Klärung der Assoziationserscheinungen weiterhin erhärtet.

Hierdurch angeregt stellten wir uns die Aufgabe, den Kerreffekt einer stark assoziierenden Substanz, des Nitrobenzols, unter Verwendung von Benzol als Lösungsmittel in Abhängigkeit von der Konzentration zu untersuchen. Dazu wurden Messungen über die ganze Konzentrationsreihe von 0–100 Molprozenten angestellt.

Theorie des Kerreffektes.

Mit den von Debye (7) im Handbuch der Radiologie gewählten Bezeichnungen ergibt die Berechnung für die beim Kerreffekt auftretende Doppelbrechung die folgende Beziehung:

$$\frac{n_p - n_s}{n} = \frac{(n^2-1)\cdot(n^2+2)}{4n^2} \cdot \frac{3(\Theta_1+\Theta_2)}{(b_1+b_2+b_3)} \cdot \frac{(\varepsilon+2)^2}{9} \cdot E^2 = K_e \cdot E^2 \qquad (1)$$

mit den Abkürzungen

$$\Theta_1 = \frac{1}{45} \cdot \frac{1}{kT}\left[(a_1-a_2)\cdot(b_1-b_2)+(a_2-a_3)\cdot(b_2-b_3)+(a_3-a_1)\cdot(b_3-b_1)\right],$$

$$\Theta_2 = \frac{1}{45} \cdot \frac{1}{(kT)^2}\left[(\mu_1^2-\mu_2^2)\cdot(b_1-b_2)+(\mu_2^2-\mu_3^2)\cdot(b_2-b_3)+(\mu_3^2-\mu_1^2)\cdot(b_3-b_1)\right].$$

In diesen beiden Ausdrücken, von denen Θ_1 charakteristisch ist für die Anisotropie des Moleküls und Θ_2 für den durch das permanente Moment bedingten Richtungseffekt, bedeuten μ_1; μ_2; μ_3 die Komponenten des permanenten Momentes in bezug auf ein molekülfestes Koordinatensystem, das bestimmt ist durch die Richtungen der drei ausgezeichneten optischen Polarisierbarkeiten (b_1; b_2; b_3), während die vom statischen Feld „Eins" in den gleichen Richtungen induzierten Momente dann durch a_1; a_2; a_3 gegeben werden. T ist schließlich die absolute Temperatur und k die Boltzmannsche Konstante.

Diese Beziehungen gelten streng genommen nur für Gase. Sie lassen sich aber nach Brieglеb (12), worauf auch Otterbein (1) hinweist, rein formal auf den flüssigen Zustand übertragen, wenn man, was vor allem bei verdünnten Lösungen berechtigt erscheint, weiterhin das innere Feld durch den Faktor $\frac{\varepsilon+2}{3}$ beschreibt und annimmt, daß zwischen den Größen a_i; b_i; μ_i im gasförmigen und flüssigen Zustand ein Unterschied besteht.

Unter diesen Annahmen definiert nun Otterbein (1) eine „Molekulare Kerrkonstante $\mathfrak{K}$" einer Substanz als Differenz der Molekularrefraktion parallel und senkrecht zum Feld für die Einheit des Lichtweges im Feld 1 E.S.E. bezogen auf das innere Feld.

$$\mathfrak{K} = \frac{R_p - R_s}{E^2(\varepsilon+2)^2}. \qquad (2)$$

Unter der Voraussetzung verdünnter Lösung, wo der Faktor $(\varepsilon_{12}+2)$ für die Lösung praktisch mit dem Faktor (ε_1+2) für das Lösungsmittel übereinstimmt, konnte nun Otterbein zeigen, daß sich die molekulare Kerrkonstante $\mathfrak{K}_{12}$ für die Lösung aus den Werten $\mathfrak{K}_1$ für das Lösungsmittel und $\mathfrak{K}_2$ für den gelösten Stoff nach der Gleichung

$$\mathfrak{K}_{12} = \mathfrak{K}_1 \cdot f_1 + \mathfrak{K}_2 \cdot f_2 \qquad (3)$$

additiv zusammensetzt. Diese Additivität aber ist, und das sei nochmals betont, nur solange wirklich gerechtfertigt, als keine Störungen durch Assoziation auftreten. Dennoch können wir uns diese Mischformel auch für unsere Zwecke nutzbar machen. Wir schlagen dazu einen ähnlichen Weg ein, wie er bei einer ganz analogen Fragestellung im Gebiet der Molekularpolarisation beschritten worden ist.

Dort läßt sich bekanntlich, ich verweise auf die Abhandlung von Debye (7) im Handbuch für Radiologie, die Molekularpolarisation P_{12} der Lösung aus den entsprechenden Größen P_1 und P_2 für Lösungsmittel und gelösten Stoff darstellen durch die Gleichung

$$P_{12} = P_1 \cdot f_1 + P_2 \cdot f_2 \qquad (4)$$

und diese Beziehung gilt streng wieder nur, solange keine Assoziationserscheinungen auftreten.

Nun definiert man aber die Gültigkeit dieser Mischformel für alle Konzentrationen, d. h., man führt die Molekularpolarisationen P_1 und P_2 für Lösungsmittel und gelösten Stoff so ein, daß sie bei gemessenem P_{12} der Gleichung (4) genügen. Diese Definition ist dann so gewählt, daß die Größen P_1 und P_2 beim Übergang zu verdünnten Lösungen in ihre ursprüngliche Bedeutung übergehen.

Man setzt dann weiter voraus, daß die Polarisation der unpolaren Komponente von der Konzentration unabhängig ist; das letztere heißt, daß eine eventuelle Assoziation der Moleküle des Lösungsmittels untereinander wegen ihrer Kleinheit zur Assoziation der Dipolsubstanz vernachlässigt wird. Dann kann man für jede Konzentration die Molekularpolarisation der polaren Substanz berechnen. Würden nun diese Werte über den ganzen Bereich konstant sein, so hieße das, eine merkliche Assoziation ist nicht vorhanden, andernfalls aber ist die Kurve Polarisation/Konzentration ein Maß für die Veränderung der Assoziation bei der Konzentrationsänderung. Dies übertragen wir nun auf unseren Fall.

Wir definieren, unter Beibehaltung der wörtlichen Erklärung für die den Größen P_1 und P_2 entsprechenden Größen $\mathfrak{K}_1$ und $\mathfrak{K}_2$, die Gültigkeit der Mischungsformel (3) für jede Konzentration und setzen ebenso voraus, daß der Anteil der unpolaren Komponente, also des Lösungsmittels, nicht von der Konzentration abhängt, mithin durch eine gerade Linie dargestellt werden kann. Dann können wir zu jedem $\mathfrak{K}_{12}$ über $\mathfrak{K}_1$ ein zugehöriges $\mathfrak{K}_2$ berechnen und als Funktion der Konzentration darstellen. Wir erwarten, daß dieser Kurvenverlauf uns ebenfalls etwas über die durch die Konzentrationsänderung bedingte Assoziationsänderung anzeigt.

Die Werte $\mathfrak{K}_{12}$ für die Lösung berechnen sich nach Otterbein (1) aus der Gleichung

$$\mathfrak{K}_{12} = \frac{n_{p_{12}} - n_{s_{12}}}{n_{12}} \cdot \frac{6\,n_{12}^2}{(n_{12}^2+2)^2} \cdot \frac{1}{(\varepsilon_{12}+2)^2} \cdot \frac{M_{12}}{\varrho_{12}} \cdot \frac{1}{E^2}. \quad (5)$$

Zum Zwecke der späteren numerischen Rechnung formen wir diesen Ausdruck zunächst noch um.

Bekanntlich wird bei allen Kerreffektmessungen experimentell als Kerrkonstante eine Größe B bestimmt, die definiert ist als in Wellenlängen ausgedrückter Gangunterschied zwischen den parallel und senkrecht zum Feld schwingenden beiden Komponenten; und zwar bezogen auf die Einheit des elektrischen Feldes (E.S.E.) und auf die Einheit des vom Licht im Feld durchlaufenen Weges. Also

$$B = \frac{\Delta}{L \cdot E^2} = \frac{n_p - n_s}{\lambda \cdot E^2}. \quad (6)$$

Bedenkt man weiterhin noch, daß das Molekulargewicht M_{12} der Lösung sich mit Hilfe der Molenbrüche f_1 und f_2 aus den entsprechenden Größen M_1 und M_2 für Lösungsmittel und gelösten Stoff darstellen läßt durch $M_{12} = M_1 f_1 + M_2 f_2$ und berücksichtigt man auch noch, daß die Feldstärke E im Kerrkondensator durch den Plattenabstand a und die angelegte Spannung V (E.S.E.) bestimmt ist, so folgt schließlich aus (5) und (6)

$$\mathfrak{K}_{12} = \Delta \frac{\lambda}{n_{12}} \cdot \frac{6\,n_{12}^2}{(n_{12}^2+2)^2} \cdot \frac{M_1 f_1 + M_2 \cdot f_2}{\varrho_{12}} \cdot \frac{1}{(\varepsilon_{12}+2)^2} \cdot \frac{a^2}{L \cdot V^2}. \quad (5a)$$

In dieser Gleichung, aus der wir später endgültig unser $\mathfrak{K}_{12}$ berechnen, bedeuten, wobei wir der Übersicht halber nochmals alles zusammenfassen:

ϱ_{12}	Dichte,
Δ	Gangunterschied in Wellenlängen,
λ	Wellenlänge des zur Beobachtung benutzten Lichtes,
n_{12}	Brechungsindex der Lösung im unbeeinflußten Zustand,
M_1, M_2	Molekulargewichte des Lösungsmittels und des gelösten Stoffes,
f_1, f_2	Molenbrüche des Lösungsmittels und des gelösten Stoffes,
ε_{12}	Dielektrizitätskonstante der Lösung,
a	Abstand der Kerrkondensatorplatten,
V	die am Kerrkondensator anliegende Spannung in E.S.E.,
L	den wahren Lichtweg im elektrischen Feld, ausgedrückt in Zentimeter.

Hinsichtlich der letzten Größe ist aber eine Bemerkung unerläßlich. Wegen der Randfelder am Kerrkondensator stimmt der Lichtweg L im Feld nicht mit der Länge l der Kondensatorplatten überein, sondern nach Chaumont (13) bestimmt sich der erstere aus der Plattenlänge l, dem Plattenabstand a und der Plattendicke d gemäß der Formel

$$L = l + \frac{a}{\pi}\left[1 + \frac{d}{a}\log\left(1 + \frac{a}{d}\right)\right]. \quad (7)$$

Über die Genauigkeit, mit der wir die einzelnen Größen bestimmen konnten, wird an geeigneter Stelle berichtet.

Experimenteller Teil.

a) Reinigung des Nitrobenzols und Benzols.

Erfahrungsgemäß ist bei Kerreffektmessungen am Nitrobenzol auf die Reinigung des letzteren größter Wert zu legen. Es hat sich nämlich herausgestellt, worauf u. a. besonders Möller (14) und neuerdings Gabler und

Sokob (15) hinweisen, daß bei schlecht gereinigtem Nitrobenzol das Feld im Kerrkondensator nicht homogen ist. Nach Möller ist dabei die Abweichung der Feldverteilung von der Homogenität durch eine ungleichmäßige Ionenverteilung bedingt, die ihrerseits wieder wahrscheinlich von dissoziierten Säureresten herrührt. Die Folge dieser Erkenntnis ist natürlich, daß eine eindeutige Zuordnung zwischen gemessener Feldstärke und gemessenem Gangunterschied nicht ohne weiteres möglich ist.

Um nun von diesen störenden Einflüssen nach Möglichkeit frei zu werden, wandten wir für die Reinigung des Nitrobenzols ein Verfahren an, das zum größten Teil dem von Gabler und Sokob (15) angewendeten Verfahren ähnlich ist, wobei die letzteren ihrerseits wieder im wesentlichen auf Arbeiten von Möller (14) zurückgreifen.

Das von Schering-Kahlbaum bezogene Nitrobenzol wurde zunächst reichlich mit aktiver Kohle versetzt und etwa 24 Stunden kräftig geschüttelt. Nach einer sich anschließenden Filtration wiederholte sich das Schüttelverfahren mit Aluminiumoxyd, wobei gleichzeitig nach einem Vorschlag von Stuart und Volkmann (16) etwa 12 Stunden lang auf 60° C erhitzt wurde. Nach der Abkühlung leiteten wir dann 12 Stunden lang unter weiterem Schütteln getrockneten Stickstoff durch die Flüssigkeit zum Trocknen. Nach dieser Vorbehandlung wurde dann das Präparat (bei etwa 2 mm Druck) über Silberoxyd destilliert und anschließend einer mehrtägigen Elektrolyse unterworfen. Wir gelangten auf diese Weise zu einer Reinheit des Nitrobenzols, die am besten durch seine Leitfähigkeit von $\sigma = (1{,}5 \pm 0{,}5) \cdot 10^{-11} \Omega^{-1}\,\mathrm{cm}^{-1}$ charakterisiert wird. Gabler und Sokob geben zwar eine Leitfähigkeit von $\sigma = 3 \cdot 10^{-12} \Omega^{-1}\mathrm{cm}^{-1}$ an, die sie auf wiederholtes Anwenden der Destillation und Elektrolyse zurückführen, worauf wir aber aus Zweckmäßigkeitsgründen verzichteten. Das Verfahren mußten wir ja für 11 Konzentrationen wiederholen, und das wäre eine Mehrbelastung gewesen, die vollkommen unnötig gewesen wäre, da wir, wie man später sehen wird, keine absoluten Messungen anzustreben brauchten. Daß aber auf jeden Fall mit einem sehr guten Ergebnis gerechnet werden konnte, erhellt die Tatsache, daß wir trotzdem mit unserer Leitfähigkeit immer noch unter dem bisher besten Wert von Möller $\sigma = 3 \cdot 10^{-11} \Omega^{-1}\mathrm{cm}^{-1}$ bleiben.

Was das Benzol als Lösungsmittel anlangt, so wurde es als „reinst pro analysi" ebenfalls von Schering-Kahlbaum bezogen. Hinsichtlich seiner Reinigung genügte es vollkommen, wenn man es zum Trocknen einige Tage über Natrium stehen läßt, das in Drahtform in die Flüssigkeit gepreßt wurde und wenn man noch eine einmalige Destillation anschließt bei normalem Druck.

b) Lösungsherstellung und Konzentrationsbestimmung.

War damit die Schwierigkeit bezüglich der Reinigung des Nitrobenzols erfolgreich überwunden, so stellte sich uns eine zweite fast ebenso große in den Weg. Das war die Herstellung der Lösung. Wir versuchten es natürlich zunächst auf die allgemein übliche Weise, Lösungsmittel und gelösten Stoff genauestens einzuwiegen, um dann rechnerisch die Konzentration, charakterisiert durch die Molenbrüche f_1 und f_2, zu bestimmen. Leider wurde hierdurch der Erfolg für die späteren Kerreffektmessungen aus folgenden Gründen vollkommen in Frage gestellt. Zum Einwiegen müssen die Flüssigkeiten umgegossen, also mit der feuchten Zimmerluft in Berührung gebracht werden. Andererseits braucht man Licht zum Ablesen der Gewichtsangaben usw. Beides genügt aber, um in verhältnismäßig kurzer Zeit die Leitfähigkeit des so mühsam gereinigten Nitrobenzols um etwa eine Zehnerpotenz heraufzusetzen. Nach verschiedenen fehlgeschlagenen Versuchen wandten wir deshalb nachfolgendes Verfahren an, das zunächst etwas eigenartig erscheint, aber vollen Erfolg hatte. Es konnte experimentell festgestellt werden, daß die an sich geringfügigen Verunreinigungen keinen Einfluß auf die Dichte haben. Das heißt, wir haben die Dichten von Nitrobenzol und einigen Lösungen, die nach den noch zu beschreibenden Verfahren hergestellt wurden, gemessen und zwar das eine Mal im Zustand größter Reinheit und das andere Mal, nachdem sie z. B. durch Licht und Luft verunreinigt worden waren. In keinem einzigen Fall konnte ein merklicher Einfluß in den Dichteangaben festgestellt werden. Die Schlußfolgerung war: Wenn es gelingt, die Lösungen selbst so herzustellen, daß die Flüssigkeiten vor der Messung in der Kerreffektsapparatur mit Luft überhaupt nicht und mit Licht nur minimal in Berührung kommen, so kann man nach der Messung aus der Dichte auf ihre Molkonzentration schließen, vorausgesetzt, daß man eine Eichkurve besitzt, die die Abhängigkeit der Konzentration von der Dichte angibt. Eine solche wurde mit Hilfe von 11 Eichkonzentrationen hergestellt, indem zunächst Nitrobenzol und Benzol nach dem beschriebenen Verfahren gereinigt, dann durch Einwiegen auf ein Milligramm genau die Konzentration bestimmt und schließlich die Dichten bei unserer Meßtemperatur von 23° C festgestellt wurden (Tabelle I, 1. und 3. Spalte).

Tabelle I.

ϱ_{12}	f_1 aus Gleichung(8)	f_1 Eichwert	Unterschied
0,8748	1,0000	1,0000	0
0,9063	0,9167	0,9163	— 4
0,9377	0,8307	0,8295	— 12
0,9684	0,7438	0,7430	— 8
1,0042	0,6389	0,6385	— 4
1,0368	0,5400	0,5400	0
1,0662	0,4481	0,4485	+ 4
1,1014	0,3346	0,3354	+ 8
1,1380	0,2127	0,2133	+ 6
1,1650	0,1203	0,1208	+ 5
1,1992	0,0000	0,0000	0

Wir suchten nun zunächst rein formelmäßig nach einem funktionellen Zusammenhang zwischen ϱ_{12} und f_1, indem wir durch die drei Punkte (Tabelle II)

Tabelle II.

ϱ_{12}	f_1
0,8748	1,0000
1,0368	0,5400
1,1992	0,0000

eine Kurve zweiten Grades von der Form

$$f_1 = a \cdot \varrho_{12}^2 + b \cdot \varrho_{12} + c$$

legten. Es ergibt sich

$$f_1 = -1{,}496970\,\varrho_{12}^2 + 0{,}022046\,\varrho_{12} + 2{,}126308. \quad (8)$$

Mit Hilfe dieser Formel bestimmten wir nun rückwärts zu unseren 11 Dichten aus Tabelle I den Molenbruch f_1 und verglichen diese Werte mit den 11 Eichwerten. Die Abweichungen vom wahren Wert gleichen wir nun graphisch aus, indem wir die Abweichungen in Abhängigkeit von ϱ_{12} auftragen (Fig. 1).

Fig. 1.

Nunmehr ist man in der Lage, die Konzentration jeder Lösung anzugeben, indem man ihre Dichte bestimmt und aus der graphischen Darstellung die zur betreffenden Dichte gehörige Korrektion an den aus Gleichung (8) zu bestimmenden Wert f_1 anbringt. f_2 ergibt sich dann einfach aus der bekannten Beziehung

$$f_1 + f_2 = 1. \quad (9)$$

Die so erhaltenen Molenbrüche f_1 und f_2 sind dann bis auf ± 2 in der letzten Dezimale bestimmt. Das bedeutet eine Ungenauigkeit, die kleiner ist als 0,2 Proz.

Die Lösungsherstellung selbst geschah nun mit Hilfe einer eigens für diesen Zweck konstruierten Destillations- und Elektrolysierapparatur, wie sie schematisch in Fig. 2 dargestellt ist.

Über die beiden Destillationskolben für C_6H_6 und $C_6H_5(NO_2)$ aus Jenaer Geräteglas braucht nichts gesagt zu werden. Die Figur zeigt alles.

Das Misch- und Elektrolysiergefäß besteht aus einem ungefähr 400 cm³ fassenden zylindrischen Gefäß, das ebenfalls aus Jenaer Glas hergestellt ist. Ein bei A in einen Hohlschliff endendes Glasrohr dient zur Zuleitung des Nitrobenzols bei der Destillation. Das entsprechende gilt in bezug auf Benzol für ein zweites bei B ebenfalls in einen Hohlschliff endendes Rohr. Ein drittes Rohr E, E biegt nach vorn um (Fig. 2b) und trägt bei I ein Schottsches Glasfilter Nr. 3 G 4. Es endet in einen kleinen Kernschliff K, der später die Verbindung mit der Kerrzelle herstellt. Das ganze Gefäß ist noch in cm³ geeicht. Für die Elektrolyse werden eine Stiftelektrode F, F und eine Zylinderelektrode G verwendet, die aus stark vergoldetem Messing hergestellt sind. Die Zylinderelektrode wird insgesamt durch drei — jeweils um 120° versetzte — Federn H in ihrer Lage gehalten. Von den beiden hintereinander, d. h. senkrecht zur Zeichenebene, liegenden Elektrodenzuführungen ist der Übersicht halber bei D nur die der Stiftelektrode gezeichnet.

Die Lösungsherstellung ging nun wie folgt vor sich: Nachdem alle Gefäße auf das sorgfältigste gereinigt (Chromschwefelsäure, destilliertes Wasser) und getrocknet (Alkohol) worden waren, wurde zunächst die Luft durch Einleiten von getrocknetem Stickstoff weitgehendst verdrängt. Dann wurde der Destillationskolben für Nitrobenzol, in den wir vorerst etwas Silberoxyd schütteten, mit der nach dem schon beschriebenen Verfahren vorbehandelten Flüssigkeit gefüllt. Nachdem dann mit Hilfe des Kolbens L eine gewisse Menge Vorlauf übergegangen war, wurde das Mischgefäß bei A mit dem Destillationskolben verbunden. Die Zuleitung B wurde dabei mit einem besteingeschliffenen Kernschliff und darübergezogener Gummikappe vakuumdicht verschlossen. Der Schliff K dagegen wurde über einen zunächst abgeklemmten Schlauch mit der Stickstoffbombe verbunden, während die Luftpumpe an dem Stutzen C angeschlossen wurde. Ein zwischengeschalteter Hahn diente zur Unterbrechung des Pumpens. War nun eine geeignete Menge Nitrobenzol in das Mischgefäß herüber destilliert, so wurden Pumpe und Heizung abgestellt und das Vakuum

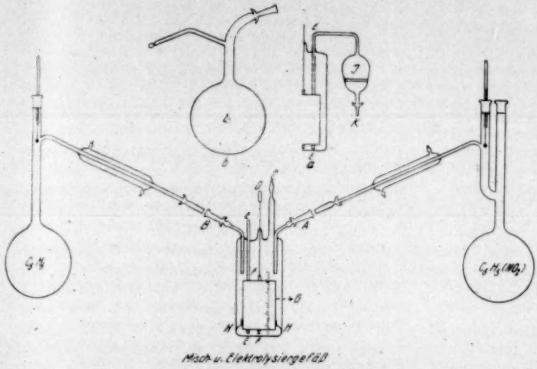


Fig. 2. Misch- und Elektrolysiergefäß.

durch Einleiten von getrocknetem Stickstoff über den Schliff K und das Rohr E,E abgebaut. Nunmehr wurde das ganze Gefäß bei B mit dem Destillationskolben für Benzol verbunden, wobei diesmal der Hohlschliff A durch einen Kernschliff verschlossen wurde. Bei normalem Druck wurde dann noch soviel Benzol hinzu destilliert, daß sich, wie man durch eine grobe Überschlagsrechnung feststellt, ungefähr die gewünschte Molkonzentration einstellt. Waren dann anschließend alle Öffnungen A; B; C; K gut verschlossen, so wurde an die Elektroden die

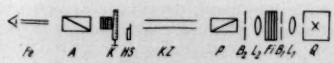


Fig. 3.

Elektrolysierspannung von 1000 Volt angelegt. Bei der geringen Leistung genügten Anodenbatterien vollkommen. Nach einigen Tagen wurde dann die Kerrzelle an den Schliff K angeschlossen und gefüllt, nachdem auch in ihr erst die Luft durch trocknen Stickstoff verdrängt worden war. Das Füllen geschah dadurch, daß mit Hilfe des Stutzens C durch etwas Überdruck die Lösung aus dem Mischgefäß herausgedrückt wurde. Das Schottfilter hatte dabei die Aufgabe, die Lösung möglichst staubfrei in die Kerrzelle gelangen zu lassen. Die Leitfähigkeit der Lösung bzw. des reinen Nitrobenzols stellten wir dann in der Kerrzelle fest, zumal wir auch an sie noch zwecks Nachelektrolyse bis zur eigentlichen Messung die Elektrolysierspannung anlegten.

Erwähnt werden mag noch, daß sämtliche eben beschriebenen Arbeitsgänge fast vollkommen im Dunkeln ausgeführt worden sind. Nur wenn es unbedingt notwendig war, wurde der Arbeitsplatz für kurze Zeit mit einer roten Lampe, wie sie in Dunkelkammern üblich sind, beleuchtet.

c) Apparatur.

Für die Messungen des beim Kerreffekt auftretenden Gangunterschiedes wurde die Apparatur von Otterbein (1) und Sachße (2) verwendet. Das gleiche gilt von der Kerrzelle. Es genügt, die Apparatur schematisch zu skizzieren (Fig. 3). Es bedeuten:

Q	Lichtquelle, eine Quecksilberlampe,
$L_1 L_2$	Linsen,
$B_1 B_2$	Blenden,
Fi	Lichtfilter für die grüne Hg-Linie $\lambda = 5461$ Å,
P	Polarisator,
KZ	Kerrzelle,
HS	Halbschatten,
K	Kompensator,
A	Analysator,
Fe	Fernrohr.

An der ganzen Anordnung wurden nur zwei Dinge geändert. Erstens wurden die vernickelten Kerrkondensatorplatten durch stark vergoldete Platten ersetzt und zweitens wurde statt des von Otterbein und Sachße für kleine Gangunterschiede angegebenen Braceschen Kompensators ein Babinet-Soleil-Keil verwendet. Über die Theorie des letzteren und über seine Verwendung in Verbindung mit einem Halbschatten hat Szivessy (17) berichtet.

Da der uns zur Verfügung stehende Kompensator im Hinblick auf größte Präzision nicht den Ansprüchen genügte, wurde er vollkommen neu gebaut (Fig. 4a, b, c, d, e, s. S. 324).

Ein Schlitten A, der den verschiebbaren Quarzkeil B trägt, gleitet in seinem Führungsbett C. Dabei wird ein Schleudern des ersteren und damit ein Verkanten des Quarzkeils usw. dadurch vermieden, daß einerseits die beiden zugeordneten Gleitflächen D,D genauestens aufeinander eingeschliffen sind und daß überdies andererseits der ganze Schlitten mit Hilfe von Federn und Kugeln bei E jederzeit fest gegen die Gleitfläche D,D gedrückt wird. Der Transport des Schlittens erfolgt durch die Spindel F,F von 0,5 mm Ganghöhe, auf

deren Herstellung und Lagerung größte Sorgfalt verwandt wurde. Um auch hier ein sauberes Arbeiten zu ermöglichen, ist das Muttergewinde des Schlittens geschlitzt, damit es mit Hilfe der Schrauben G genau aber zwanglos an das Spindelgewinde angepaßt werden kann. Auf der einen Seite endet die Spindel in eine Trommel H, die eine Teilung von 0 bis 100 trägt. Schließlich wurde noch der tote Gang durch die Feder I verhindert.

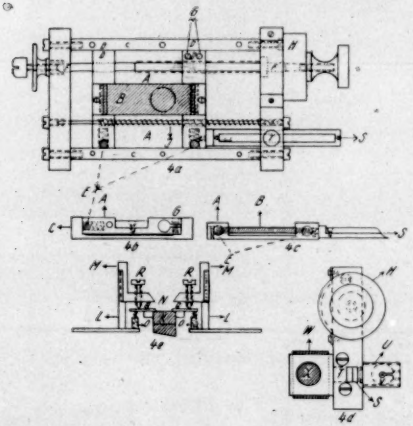


Fig. 4. Kompensator nach Babinet-Soleil.

Hinsichtlich des Deckels (Fig. 4e), der den festen Quarzkeil K trägt, ist folgendes zu sagen: Auf dem Deckel selbst ist ein Zylinder L aufgelötet, in den von oben ein zweiter Zylinder M eingeschraubt ist mit bei N durchbohrtem Boden. Weiterhin sind auf dem Deckel noch drei — jeweils um 120° versetzte — kleine Hohlzylinder O angebracht, die als Bett für drei Federn dienen, auf denen mit Hilfe von drei Stiften vollkommen frei ein Messingtischchen Q ruht, das der eigentliche Träger des Quarzkeils K ist. Durch diese Federn und drei — ebenfalls jeweils um 120° versetzte — Stellschrauben R kann dann der Quarzkeil K genauestens so justiert werden, daß seine schiefe Fläche mit der entsprechenden des beweglichen Keils B jederzeit parallel verläuft.

Die Ableseeinrichtung ist bei uns äußerst bequem gehalten. Der Schlitten trägt auf der einen Seite einen zweiteiligen Rahmen S, in dem ein Film eingespannt ist, auf dem sich eine auf 0,1 Proz. genaue 0,1-mm-Skala befindet. Die eine Seitenwand des Führungsbettes C ist nun weiterhin bei T zylindrisch durchbohrt. Auf der einen Seite der Öffnung befindet sich in einem aufgeschraubten Zylinder U eine kleine 4-Volt-Birne V, während auf der anderen ein totalreflektierendes Prisma W angebracht ist, dessen eine Kathetenfläche durch eine Linse X begrenzt wird. Mit Hilfe dieser Einrichtung kann nun die Skala auf einen kleinen seitlich aufgestellten und mit einer Ablesemarke versehenen Schirm vergrößert und scharf abgebildet werden. Unter Zuhilfenahme der Trommelablesung bedingt dies ein bequemes und nicht ermüdendes Ablesen der Größen, die den einzelnen Schlittenstellungen zugeordnet sind.

Bei der Eichung unseres Kompensators fanden wir für die einem Gangunterschied von einer Wellenlänge λ entsprechende Umdrehungsdifferenz ϑ den Wert

$$\vartheta = 1943 \text{ Trommelteilstriche.}$$

Als Lichtquelle verwandten wir dabei die grüne Quecksilberlinie $\lambda = 5461$ Å.

Um nun einen Begriff für die Güte dieses Wertes zu erhalten, haben wir mit unserem Kompensator die Phasendifferenz des von Otterbein und Sachße verwendeten Braceschen Kompensators nachgemessen. Wir fanden 12° 13,8′, während Otterbein 12°12′ angibt. Das ist ein Ergebnis, mit dem wir recht zufrieden sein können.

d) Messungen.

I. Unsere sämtlichen 11 Messungen, die sich jeweils um ungefähr 10 Molprozent unterscheiden, wurden bei konstanter Temperatur ausgeführt, indem während der Messung die Kerrzellen von einem Messingmantel umgeben waren, durch den Wasser von 23° C gepumpt wurde. Diese Temperaturkonstanz konnte trotz oft recht beträchtlicher Schwankung in der Zimmertemperatur im Sommer und Winter mit Hilfe eines Toluolreglers auf $\pm 0{,}1°$ C aufrecht erhalten werden.

II. Den Gangunterschied Δ haben wir in einem Meßgang für jede Lösung insgesamt dreimal an verschiedenen Stellen des Kompensators gemessen, indem wir die Stellung des letzteren sowohl bei abgeschaltetem als auch bei eingeschaltetem äußeren Feld durch zehnmaliges Ablesen und anschließende Mittelwertbildung bestimmten. Auf diese Weise erhielten wir neben dem Gangunterschied Δ selbst gleich noch einen Überblick über die Ungenauigkeit, mit der die einzelnen Messungen behaftet sind. Um aber dieses Verfahren wegen der Zunahme des Gangunterschiedes bei der Konzentrationserhöhung für jede Lösung anwenden zu können, wurde von 30 Molprozent an aufwärts, bei völliger Ausnutzung des Kompensators, immer ungefähr der gleiche Gangunterschied eingestellt, indem wir die Spannung am Kerrkondensator geeignet einregulierten. Das ist auch der Grund dafür, warum bei der Zusammenfassung der Ergebnisse in Tabelle III die Spannungsangaben zwischen etwa 3000 und 10000 Volt (das entspricht einer Feldstärke von etwa 9000–30000 Volt/cm) variieren. Wir fanden nun, daß die drei gemessenen Gangunterschiede sich für jede Lösung, mit

Ausnahme der Messung am reinen Lösungsmittel, um höchstens 1,5 Proz., ja in der Mehrzahl der Fälle sogar um weniger als 1 Proz. unterschieden. Der in Tabelle III angegebene Wert für A ist dann aus den drei gemessenen Werten durch Mittelwertbildung hervorgegangen. Seine Genauigkeit kann hiernach mit ± 1 Proz. angegeben werden. Für den Fall des reinen Benzols, wo sich wegen der Kleinheit der zu messenden elektrischen Doppelbrechung die Streuung der abgelesenen Werte am Kompensator stärker bemerkbar macht, müssen wir jedoch einen Fehler von ± 5 Proz. hinnehmen.

Von diesem angegebenen relativen Fehler, der auf die beschränkte Meßgenauigkeit unserer Apparatur zurückzuführen ist, muß noch der absolute Fehler unterschieden werden, der sich z. B. dadurch bemerkbar macht, daß sich bei noch größerer Reinigung des Nitrobenzols der Gangunterschied für die einzelnen Lösungen noch etwas in Richtung größerer Werte verschiebt. Die Messungen von Gabler und Sokob (15) zeigen diese Tatsache sehr deutlich. Dieser absolute Fehler bedingt aber für unsere späteren Kurven (Fig. 5, 6, 7), die die Abhängigkeit der Kerrkonstanten von der Konzentration wiedergegeben, einzig und allein eine mit der Konzentration zunehmende Verschiebung nach der einen Seite, ohne jedoch am eigentlichen Verlauf der Kurve etwas zu ändern. Für reines Nitrobenzol z. B. ist der Unterschied etwa 5 Proz. Das ist der Grund dafür, daß wir auf eine noch größere Reinigung des Nitrobenzols verzichten konnten.

III. Als Lichtquelle diente eine Quecksilberlampe, aus deren Spektrum wir mit Hilfe eines Filters von Zeiß die für das Auge besonders empfindliche grüne Linie $\lambda = 5461$ Å auswählten.

IV. Der Brechungsindex n_{12} wurde zunächst mit einem Abbeschen Refraktometer für die gelbe Natriumlinie bei Zimmertemperatur bestimmt. Um ihn dann für unsere Wellenlänge umrechnen zu können, entnahmen wir aus Dispersionstabellen, daß der gemessene Wert für Benzol um 0,3 Proz. und der für Nitrobenzol um 0,45 Proz. vergrößert werden muß. Im Zwischengebiet der eigentlichen Lösungen genügt dann eine lineare Interpolation vollkommen. Hierbei bestimmt sich die anzubringende Korrektion K Proz. durch die Gleichung

$$K \text{ Proz.} = (0{,}30 + 0{,}15 \cdot f_2) \text{ Proz.}$$

Für den Temperaturunterschied von Zimmer- auf Meßtemperatur (23° C) wurde jedoch keine Korrektion angebracht, da sein Einfluß auf unsere Ergebnisse viel zu gering ist.

V. Ebenso ist der durch die Unbestimmtheit der Molekulargewichte M_1 und M_2 bedingte Fehler viel zu klein, als daß er einen störenden Einfluß auf unsere Meßergebnisse haben könnte.

VI. Dasselbe gilt auch noch für die Dichtemessungen ϱ_{12}. Die bei der letzteren auftretenden Schwankungen machen sich erst in der vierten Dezimale bemerkbar, so daß wir die Werte ϱ_{12} als absolut genau annehmen können.

VII. Über die Genauigkeit der Molenbrüche f_1 und f_2 schließlich ist im Abschnitt über „Lösungsherstellung und Konzentrationsbestimmung" schon berichtet worden. Wir haben dort eine Ungenauigkeit von $\pm 0{,}2$ Proz. angegeben.

VIII. Weiterhin wurde noch die Dielektrizitätskonstante ε_{12} experimentell bestimmt. Wir bedienten uns dabei einer Apparatur, die von Müller (18) im hiesigen Institut bei seinen Messungen über „Dipolmoment und Lösungsmittel" verwendet wurde. Da diese Apparatur aber ihrem eigentlichen Zweck entsprechend nur für kleine DK. gedacht war, konnte sie nur dadurch für unsere Zwecke nutzbar gemacht werden, daß wir einen neuen Flüssigkeitskondensator von bedeutend kleinerer Leerkapazität anfertigten. Da sich jedoch dadurch die Streuungen bei den einzelnen Ablesungen in den verschiedenen Gebieten des nicht vollkommen linearen Ausgleichskondensators in erhöhtem Maße bemerkbar machen, war natürlich von vornherein nicht die gleiche ausgezeichnete Genauigkeit zu erwarten, wie sie Müller bei seinen Messungen angibt. Wir müssen uns deshalb bei unseren DK.-Angaben mit einer Ungenauigkeit von $\pm 0{,}5$ Proz. zufrieden geben. Im Hinblick auf die Gleichung (5a) bedeutet dies dann, daß die DK.-Messung höchstens einen Fehler von ± 1 Proz. verursacht.

IX. Genau so groß, also maximal ± 1 Proz., ist auch der Fehler, den die Spannungsmessung, die ja mit $\frac{1}{V^2}$ in Gleichung (5a) eingeht, bedingt. Denn die Spannung am Kerrkondensator konnte, worauf schon Otterbein und Sachße hinweisen, auf $\pm 0{,}3$ Proz. genau gemessen werden.

X. Die Länge der Kondensatorplatten ist $l = (149{,}9 \pm 0{,}04)$ mm, ihre Dicke $d = 3{,}1$ mm und ihr Abstand $a = (3{,}14 \pm 0{,}005)$ mm. Hieraus berechnet sich dann der wahre Lichtweg im elektrischen Feld zu $L = 151{,}7$ mm. Das bedeutet, daß die für die Kerrzelle charakteristische Größe $\frac{a^2}{L}$ mit $(6{,}4994 \pm 0{,}021) \cdot 10^{-3}$ angegeben werden kann. Sie ist also auf $\pm 0{,}3$ Proz. bekannt.

Fassen wir nun diese Fehlerbetrachtung noch zusammen und berechnen aus Gleichung

(5a) die molekulare Kerrkonstante $\mathfrak{K}_{12}$ für die Lösung, so kann jeder dieser Werte noch nach beiden Seiten um insgesamt 3,5 Proz. schwanken. Eine Ausnahme bildet dabei wieder der Wert für das reine Lösungsmittel, für das wir eine Ungenauigkeit von $\pm 7{,}5$ Proz. zulassen müssen.

Meßergebnisse und Diskussion.

In Tabelle III sind die Ergebnisse der Messungen übersichtlich zusammengestellt. Wir finden in ihr neben den einzelnen Bestimmungsstücken die gewöhnliche Kerrkonstante $B = \frac{\Delta}{L \cdot E^2}$, die aus Gleichung (5a) berechnete molare Kerrkonstante $\mathfrak{K}_{12}$ für die Lösung und die aus ihr vermittels der Beziehung $\mathfrak{K}_{12} = \mathfrak{K}_1 f_1 + \mathfrak{K}_2 f_2$ berechnete molare Kerrkonstante $\mathfrak{K}_2$ für das Nitrobenzol.

Tabelle III.

$\frac{a^2}{L} = 6{,}4994 \cdot 10^{-3}$, $\lambda = 5461 \cdot 10^{-8}$ cm,

$M_1 = 78{,}05$, $M_2 = 123{,}05$.

$\Delta \cdot 10^3$	f_1	f_2	ϱ_{12}	$V_{\text{R.S.E.}}$
6,896	1,0000	0,0000	0,8748	33,33
177,5	0,9070	0,0930	0,9097	33,33
433,6	0,8043	0,1957	0,9468	33,33
570,4	0,7382	0,2618	0,9701	31,25
598,0	0,6468	0,3532	1,0014	25,54
594,5	0,5341	0,4659	1,0387	21,25
521,0	0,4231	0,5769	1,0743	17,00
545,5	0,3128	0,6872	1,1083	15,33
572,1	0,2171	0,7829	1,1369	13,92
559,1	0,1195	0,8805	1,1654	11,95
478,5	0,0000	1,0000	1,1992	9,375

n_{12}	ε_{12}	$B \cdot 10^5$	$\mathfrak{K}_{12} \cdot 10^{12}$	$\mathfrak{K}_2 \cdot 10^{12}$
1,5056	2,26	0,00403	5,37	
1,5118	4,42	0,104	61,5	609
1,5186	7,01	0,254	77,0	371
1,5227	8,80	0,380	80,7	293
1,5276	11,3	0,596	84,2	229
1,5341	14,6	0,856	78,5	162
1,5393	18,3	1,17	72,7	122
1,5452	22,5	1,51	65,0	92,2
1,5496	25,6	1,92	65,8	82,6
1,5534	29,6	2,54	67,1	75,5
1,5600	34,5	3,54	70,9	70,9

In den Fig. 5, 6 und 7 sind zunächst die Werte B, $\mathfrak{K}_{12}$ und $\mathfrak{K}_2$ in Abhängigkeit vom Molenbruch f_2, also der Konzentration der gelösten Substanz, aufgetragen. Die gestrichelte Kurve in Fig. 6 erhalten wir dadurch aus $\mathfrak{K}_{12}$, indem wir von dieser den Anteil des Lösungsmittels $f_1 \mathfrak{K}_1$, den wir ja geradlinig annehmen wollen, abziehen. Die Kurve $\mathfrak{K}_2$ in Fig. 7 entsteht dann aus dieser gestrichelten Kurve, indem man deren Werte Punkt für Punkt durch den zugehörigen Molenbruch f_2 dividiert.

Aus dem Verlauf dieser letzten Kurve erkennen wir nun unmittelbar den Einfluß der Assoziation auf die Kerrkonstanten bei den verschiedenen Konzentrationen. Denn wäre keine merkliche Beeinflussung der Moleküle untereinander vorhanden, so hätte sich als Kurve $\mathfrak{K}_2$ eine Parallele zur Abszissenachse ergeben müssen. Rein qualitativ erfahren wir aber aus der Kurve auch noch, daß der Assoziationseinfluß

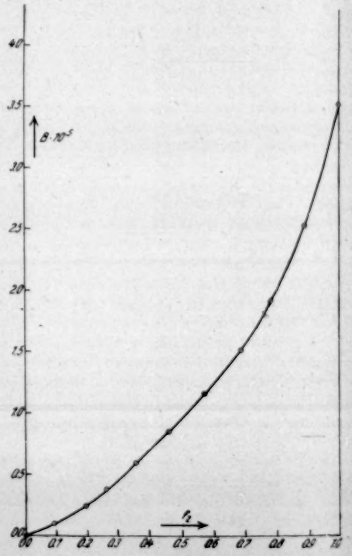


Fig. 5.

nicht linear mit der Konzentration verläuft. Bei kleinen Konzentrationen ist der Einfluß jedes neu hinzukommenden Nitrobenzolmoleküls auf die resultierende Kerrkonstante $\mathfrak{K}_2$ außerordentlich groß. Wir erkennen dies aus der Steilheit der Kurve. Je weiter wir jedoch in Richtung größerer Konzentrationen vorschreiten, um so kleiner wird dieser Einfluß und in unmittelbarer Nähe des reinen Nitrobenzols ist nur noch eine äußerst geringe Beeinflussung der Kerrkonstanten von seiten eines Moleküls vorhanden, was sich darin bemerkbar macht, daß die Kurve fast horizontal ausläuft.

Für die Auswertung unseres Ergebnisses lege ich nun Debyes (6) Betrachtungen über die „Rotation der Moleküle in Flüssigkeiten" zugrunde.

Debye macht sich bekanntlich für die molekulare Struktur der Flüssigkeiten folgendes Bild: Die Rotation der Moleküle ist in Flüssigkeiten nicht vollkommen frei, sondern sie gleicht mehr oder weniger einer Rotationsschwingung um eine Achse, deren Orientierung sich jedoch langsam ändert, so daß die Achse im Laufe der Zeit alle Lagen einnehmen kann. Betrachtet man dann unter dieser Festsetzung z. B. Dipolmoleküle, so kann man annehmen, daß diese Moleküle eine Energie $(-E\cos\vartheta)$ in bezug auf diese Achse besitzen. ϑ bezeichnet dabei den Winkel zwischen Dipolmoment und momentaner Raumachse. Für den Fall nichtpolarer Moleküle muß entsprechend der Energieansatz dann lauten $(-E\cos^2\vartheta)$, wo diesmal ϑ den Winkel zwischen einer ausgezeichneten Achse des Moleküls und der für einen Augenblick festen Raumachse bedeutet.

Geht man nun von diesen Annahmen aus, so konnte Debye zeigen, daß die molekulare Kerrkonstante $\mathfrak{K}_2$ für Dipolmoleküle in Flüssigkeiten nicht mehr gleich der Konstanten $\mathfrak{K}_{20}$ im gasförmigen Zustand sein kann, wo wir ja vollkommen freie Rotation voraussetzen können. Vielmehr besteht zwischen beiden Größen eine Beziehung von der Form

$$\mathfrak{K}_2 = \mathfrak{K}_{20} \cdot R(y)\,, \tag{10}$$

hierin bedeutet $R(y)$ einen Reduktionsfaktor, der einzig und allein eine Funktion von $y = \frac{E}{kT}$ ist, und dargestellt wird durch den Ausdruck

$$R(y) = \frac{3L(y)}{y}\left[2 - \frac{3L(y)}{y} - \frac{3}{9}y^2\left(\frac{3L(y)}{y}\right)^2\right], \tag{10a}$$

worin

$$L(y) = \mathrm{Kotg}\, y - \frac{1}{y} \tag{10b}$$

die bekannte Langevin-Funktion bedeutet.

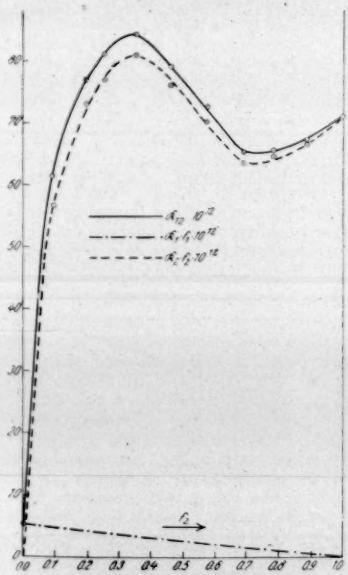


Fig. 6.

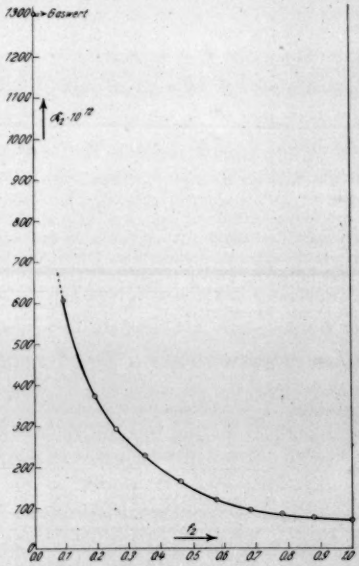


Fig. 7.

Dieses Ergebnis wollen wir nun für die Auswertung unserer Messungen verwenden. Wir haben ja für die einzelnen Konzentrationen die Größen $\mathfrak{K}_2$ bestimmt. Wir können also die Reduktionsfaktoren $R(y)$ berechnen, wenn für unsere Temperatur $T = 296°$ abs. der Gaswert $\mathfrak{K}_{20}$ bekannt ist. Diesen können wir aber tatsächlich angeben.

Stuart (8) hat nämlich für die Temperatur $T = 508{,}8°$ abs. und für unsere Wellenlänge $\lambda = 5461$ Å sowie einen Druck von 760 mm Hg die in Gleichung (5a) eingehende Größe

$$K = \frac{A \cdot \lambda \cdot a^2}{n_{12} L \cdot V^2} = \frac{A \cdot \lambda}{n_{12} L \cdot E^2} = B \frac{\lambda}{n_{12}}$$

für Nitrobenzol experimentell im gasförmigen Zustand bestimmt. Er findet

$$K = K_1 + K_2 = (7 + 139) \cdot 10^{-15} = 146 \cdot 10^{-15}.$$

Hierin bedeuten

K_1 den Anisotropieteil zu K

und K_2 den Dipolanteil zu K.

Diese Größen brauchen wir nun nur für unsere Temperatur $T = 296°$ abs. umzurechnen. Dazu müssen wir für K_1 mit einer $\frac{1}{T^2}$ = Abhängigkeit und für K_2 mit einer $\frac{1}{T^3}$ = Abhängigkeit rechnen. Wir fanden nämlich früher [Gleichung (1)], daß der Anisotropieanteil Θ_1 mit $\frac{1}{T}$ und der Dipolanteil Θ_2 mit $\frac{1}{T^2}$ in die Kerrkonstante eingeht. Für die Größen K_1 und K_2 müssen wir aber bedenken, daß diese nicht nur allein den Größen Θ_1 bzw. Θ_2 proportional sind, sondern natürlich auch noch der Anzahl der Moleküle in cm³ bei der betreffenden Meßtemperatur. Diese Anzahl ist aber ihrerseits wieder umgekehrt proportional der Temperatur, und hieraus ergibt sich dann die oben erwähnte $\frac{1}{T^2}$ = Abhängigkeit für K_1 und die $\frac{1}{T^3}$ = Abhängigkeit für K_2. Führen wir nun die Berechnung aus, so ergibt sich für unsere Temperatur $T = 296°$ abs.

$$K_1 = 20{,}6 \cdot 10^{-15} \quad \text{und} \quad K_2 = 703{,}6 \cdot 10^{-15},$$

also

$$K = K_1 + K_2 = 724{,}2 \cdot 10^{-15}.$$

Damit können wir nun die aus der Gleichung (5a) für Nitrobenzol zu bestimmende molare Kerrkonstante $\mathfrak{K}_{20}$ im gasförmigen Zustand berechnen. Zu diesem Zweck entnehmen wir mit guter Näherung aus der idealen Gasgleichung für $T = 296°$ abs. und $p = 760$ mm Druck für $\frac{M_{12}}{\varrho_{12}}$ den Wert $24{,}3 \cdot 10^3$ cm³. Weiterhin können wir hier setzen

$$\varepsilon_{12} + 2 = 3 \quad \text{und} \quad \frac{n_{12}^2}{(n_{12}^2 + 2)^2} = \frac{1}{9}.$$

Der durch diese Vereinfachungen bedingte Fehler ist dann für unsere Zwecke vernachlässigbar klein. Für die molare Kerrkonstante $\mathfrak{K}_{20}$ des Nitrobenzols im gasförmigen Zustand ergibt sich dann

$$K_{20} = 1304 \cdot 10^{-12}.$$

Nunmehr kann man nach Gleichung (10) die Reduktionsfaktoren $R(y)$ berechnen und aus ihnen mit Hilfe der Beziehungen (10a, b) die zu den einzelnen Konzentrationen gehörige Energie $E = y \cdot kT$, die ja ein Maß für die Behinderung der freien Rotation ist. Die Ergebnisse sind in Tabelle IV zusammengestellt.

Tabelle IV.

f_2	$R(y)$	$y = \frac{E}{kT}$
0,0030	0,467	2,1
0,1057	0,285	3,0
0,2618	0,225	3,5
0,3532	0,175	4,0
0,4659	0,125	4,8
0,5769	0,0935	5,6
0,6872	0,0707	6,4
0,7829	0,0633	6,8
0,8805	0,0579	7,1
1,0000	0,0544	7,3

Die Abhängigkeit der Energie E von der Konzentration wird schließlich durch Fig. 8 veranschaulicht. Aus dieser entnehmen wir, daß die Behinderung der freien Rotation der polaren Nitrobenzolmoleküle in den einzelnen Lösungen mit der Konzentration immer größer wird. Die

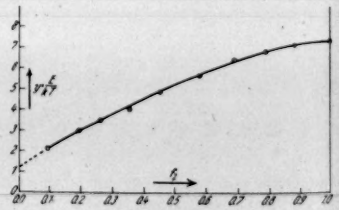


Fig. 8.

Zunahme, pro Molekül gesprochen, ist jedoch erwartungsgemäß nicht linear. Sie ist im Bereich verdünnter Lösungen am größten und nimmt mit steigender Konzentration immer mehr ab. Das ist aber auch vollkommen verständlich; denn im Fall einer verdünnten Lösung, wo an sich im Vergleich zur Gesamtzahl der Moleküle nur sehr wenig Dipolmoleküle vorhanden sind, wird sich eine Beeinflussung des Rotationszustandes des einzelnen Moleküls beim Hinzutreten eines weiteren Dipolmoleküls viel stärker bemerkbar machen, als bei einer konzentrierten Lösung, wo sich der Einfluß des einen Moleküls

auf unzählige gleichgeartete verteilt. Natürlich dürfen wir im Hinblick auf diese reine Dipolassoziation nicht vergessen, daß auch noch eine Beeinflussung zwischen Lösungsmittel und gelöstem Stoff vorhanden ist, was sich ja schon darin bemerkbar macht, daß die Kurve für y offenbar für $f_2 = 0$ nicht durch den Nullpunkt geht. Aber bei einer Substanz wie Nitrobenzol, das ein Moment von $\mu = 3{,}9 \cdot 10^{-18}$ E.S.E. besitzt, ist für den typischen Verlauf der Kurve die erste Art der Beeinflussung bei weitem die ausschlaggebende. Im übrigen macht sich das eben schon darin bemerkbar, daß man bekanntlich mit Hilfe der verdünnten Lösungen [Otterbein (1); Sachße (2)] immer durch Extrapolation auf unendliche Verdünnung dem Gaswert bis auf einige Prozent nahekommt.

Aus diesem Ergebnis heraus wird uns natürlich der Verlauf der Kurve $\mathfrak{K}_2$ in Fig. 7 viel verständlicher. Wegen der zunehmenden Behinderung der Rotation der Dipolmoleküle mit steigender Konzentration sind diese, von der Temperaturbewegung abgesehen, natürlich immer weniger in der Lage, sich so ohne weiteres in die bevorzugte Richtung des äußeren Feldes einzustellen. Das heißt mit zunehmender Konzentration wird die molare Kerrkonstante immer kleiner und zwar in dem Maß, wie die Behinderung der Rotation zunimmt. In diesem letzten Sinn decken sich aber die Kurven in Fig. 7 und 8 vollkommen.

Zusammenfassung.

Zur Untersuchung der Assoziationserscheinungen bei Dipolmolekülen in Flüssigkeiten wurden Kerreffektmessungen am Nitrobenzol in Benzol ausgeführt. Die Messungen verteilten sich über die ganze Konzentrationsreihe von 0–100 Molprozent.

Wegen der sonst vorhandenen stark störenden Feldverzerrung im Kerrkondensator wurde besondere Sorgfalt auf die Reinigung des Nitrobenzols verwendet. Hieraus ergab sich die Notwendigkeit, die Flüssigkeit vor der eigentlichen Messung vor Licht und Luft zu bewahren. Dies wurde erreicht mit Hilfe einer dem ganzen Problem angepaßten besonderen Methode der Lösungsherstellung und deren Konzentrationsbestimmung.

Bei der Diskussion der Meßergebnisse wurden die Debyeschen Betrachtungen über die behinderte freie Rotation der Moleküle in Flüssigkeiten zugrunde gelegt. Man kann mit Hilfe des Gaswertes $\mathfrak{K}_{20}$ für die einzelnen Konzentrationen die für die Behinderung der Rotation charakteristische Energie berechnen und somit als Funktion der Konzentration darstellen. Es zeigt sich, daß die Rotationsbehinderung mit der Konzentration zunimmt und zwar so, daß, pro Molekül gesprochen, die Zunahme im Gebiet verdünnter Lösungen am größten ist, während sie mit zunehmender Konzentration immer kleiner wird. Hieraus erklärte sich die starke Abnahme der molekularen Kerrkonstanten $\mathfrak{K}_2$ des Nitrobenzols bei kleinen Konzentrationen im Gegensatz zur viel geringeren Abnahme im Gebiet hoher Konzentrationen.

Diese Arbeit wurde in den Jahren 1935 und 1936 im Physikalischen Institut der Universität Leipzig angefertigt.

Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. P. Debye spreche ich für die Anregung zu dieser Arbeit und sein stetes Interesse meinen herzlichsten Dank aus. Ebenso gilt mein Dank Herrn Dr. W. Ramm für manchen freundlichen Rat bei der Durchsicht der Arbeit.

Literaturverzeichnis.

1) G. Otterbein, Diss. Leipzig 1934; Physik. Zeitschr. **35**, 249, 1934.
2) G. Sachße, Diss. Leipzig 1935; Physik. Zeitschrift **36**, 537, 1935.
3) F. G. Keyes und J. G. Kirkwood, Phys. Rev. **37**, 202, 1931.
4) J. Malsch, Physik. Zeitschr. **33**, 383, 1932.
5) A. E. van Arkel und J. L. Snoek, Physik. Zeitschr. **33**, 662, 1932.
6) P. Debye, Physik. Zeitschr. **36**, 100, 1935.
7) P. Debye, Handb. d. Radiologie, 2. Aufl., Leipzig **6**, 179, 1934.
8) H. A. Stuart, Molekülstruktur (Verlag Jul. Springer, Berlin), S. 210, 1934.
9) P. Langevin, Ann. chim. et phys. **5**, 70, 1905; Le Radium **7**, 249, 1910.
10) M. Born, Ann. d. Phys. (4) **55**, 1777, 1918.
11) R. Gans, Ann. d. Phys. (4) **64**, 481, 1921.
12) J. Briegleb, Zeitschr. f. phys. Chem. (B) **16**, 249, 1932.
13) L. Chaumont, Ann. d. Phys. (9) **5**, 31, 1916.
14) R. Möller, Physik. Zeitschr. **32**, 697, 1931.
15) F. Gabler und P. Sokob, Zeitschr. f. techn. Phys. (1) **17**, 11, 1936.
16) H. A. Stuart und G. Volkmann, Zeitschr. f. Phys. **83**, 494, 1933.
17) G. Szivessy, Zeitschr. f. Phys. **29**, 372, 1924.
18) H. Müller, Diss. Leipzig 1933; Physik. Zeitschrift **34**, 689, 1933.

Leipzig, Physikalisches Institut der Universität.

(Eingegangen 25. Februar 1937.)

Elektronische Bild- und Zeichenübertragung mit Isolator- bzw. Halbleiterschichten.

Von M. Knoll und F. Schröter.

Es existieren zwei verschiedene physikalische Effekte, die es ermöglichen, dünne homogene Schichten von Isolatoren bzw. Halbleitern zur Übertragung von Bildern oder Zeichen durch Kathodenstrahlabtastung zu benutzen. Der erste, hauptsächlich für gut isolierende Schichten brauchbare Weg beruht auf einem in jeder Bildperiode wiederholten Aufbau elektrischer Ladungen durch ein aus einem Lichtbild gewonnenes, auf die Schichtoberfläche geworfenes Elektronenbild und ihrer momentanen Entfernung bei Berührung mit dem Abtaststrahl[1]). Die je nach der Bildpunktelektronendichte verschieden hohen negativen Ladungen erzeugen dann über die zwischen der Oberfläche und der Metallgrundplatte des Isolators vorhandene Kapazität und die Sekundäremissionsstrecke zur Anode die den Bildinhalt wiedergebenden Stromimpulse. Da sich die negativen Ladungen auf der hochisolierenden Schicht geraume Zeit unverändert erhalten[2]), kann derselbe Mechanismus zur Aufspeicherung und Wiederabnahme von Elektronenbildern oder Zeichenschrift dienen, die in üblicher Weise direkt durch Bewegung und Stromsteuerung eines spitzen Elektronenstrahlbündels auf der isolierenden Schicht erzeugt und durch einen Abtaststrahl wieder ausgelöscht werden („reversible Modulationsspeicherung")[3]).

Versuchsanordnung für hochisolierende Schichten.

In Fig. 1 ist der grundsätzliche Aufbau der für die Untersuchung benutzten Röhre dargestellt. Das abzutastende Elektronenbild wurde hier nicht über eine Photokathode, sondern durch einen glühelektrisch erzeugten Elektronenstrahl von kreisförmigem Querschnitt hergestellt[4]). Fig. 2 gibt die so erhaltene Übertragung mit einer 0,01 mm dicken Al_2O_3-Schicht wieder, Fig. 3 das erste, 1934/35 erhaltene Versuchsergebnis mit einer 0,1 mm dicken Glasplatte, bei der das Elektronenbild durch elektronenoptische Vergrößerung einer elektronenbestrahlten Kreuzblende erhalten wurde. Helle Stellen im Lichtbild erzeugen beim Abtasten durch den Elektronenstrahl eine negative Bildspannung an dem mit der Platte verbundenen Ende des äußeren Widerstandes. Zum Übertragen eines Positivbildes muß

1) M. Knoll, Naturwiss. **24**, 145, 1936; Zeitschr. f. techn. Phys. **1**, 615, 1936.
2) Vgl. Anmerkung 1.
3) Nach Vorschlägen von F. Schröter (1935).
4) Über Einzelheiten vgl. l. c. Anmerkung 1.

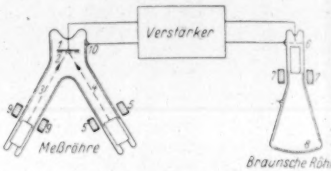


Fig. 1. Meßanordnung zur Fernübertragung von Elektronenbildern. 1 Metallplatte; 2 zu untersuchende Isolier- bzw. Halbleiterschicht; 3 Kathodenstrahl zur Erzeugung des Elektronenbildes; 4 Abtastkathodenstrahl; 5, 7 je vier magnetische, synchron von den Ablenkströmen durchflossene Ablenkspulen; 6 Elektrode zur Helligkeitssteuerung; 8 Leuchtschirm der Braunschen Röhre; 9 Magnetische Ablenkspulen oder Elektronenlinse zur Erzeugung des Elektronenbildes; 10 Anode der Meßröhre.

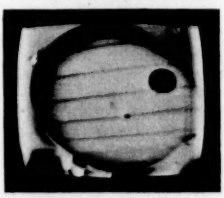


Fig. 2. Mit einer Al_2O_3-Schicht übertragenes Elektronenbild. Dicke der Schicht: 0,01 mm. Kreisförmiger Elektronenfleck.
Bildelektronen: $u_b = 1500$ V; $i_b = 10^{-7}$ A.
Abtastelektronen: $u_a = 1500$ V; $i_a \sim 10^{-5}$ A.
Vorspannung der Platte gegen Anode: $u_p = -100$ V.
Verstärkungszahl: $\sim 10^3$.

Fig. 3. Mit einer Glasplatte übertragenes Elektronenbild. Dicke der Schicht: 0,1 mm. Elektronenbild durch elektronenmikroskopische Abbildung einer Kreuzblende erzeugt. Geschwindigkeiten und Ströme der Bild- und Abtastelektronen ähnlich wie in Fig. 2 angegeben. Linke Hälfte der Glasplatte mit kolloidaler isolierender Ag-Schicht überzogen.

also der Bildverstärker wie beim Zworykinschen Ikonoskop stets eine ungerade Anzahl von Stufen besitzen. Daraus ist mit großer Wahrscheinlichkeit zu schließen, daß die Übertragung des Elektronenbildes durch negative Aufladung der Halbleiteroberfläche (z. B. mit langsamen Streuelektronen von einem Sekundäremissionsfaktor < 1) und eine mit der Bildfrequenz sich wiederholende Abführung dieser Ladungen durch den Abtastelektronenstrahl (Sekundäremissionsfaktor > 1) zustande kommt. Auf dem jeweilig vom Abtaststrahl berührten Schichtelement wird also eine als zusätzlicher Bildstrom im Plattenstromkreis in Erscheinung tretende Ladung vernichtet, deren Größe mit dem Widerstand der Isolatorschicht zunehmen muß.

Daß es sich um eine Aufladungserscheinung handeln muß, ergab sich auch aus einer Kontrolle der Speicherdauer. Sie erfolgte dadurch, daß das Elektronenbild bei ausgeschaltetem Abtaststrahl auf die Isolatorfläche projiziert, dann sofort abgeschaltet und erst nach einer gewissen Zeit mit dem Abtastelektronenstrahl abgetastet wurde. Dabei wurde festgestellt, daß das in Ladungen verwandelte Elektronenbild noch minutenlang, in Einzelfällen (Al_2O_3) sogar stundenlang nach dem Aufbringen nachgewiesen werden kann[1]). Daß die Speicherdauer länger als die Bildwechseldauer sein muß, ergibt sich auch schon aus dem Sichtbarwerden der vom Abtaststrahl während des Bildrücklaufs hinterlassenen Ladungstörung beim Abtasten durch diesen selbst (schwarze Linien in Fig. 2).

Die Übertragung von Elektronenbildern gelang wie mit Glas auch mit Glimmer und Quarz, dagegen nicht mit einer Cu_2O-Schicht, wahrscheinlich wegen deren erheblich größerer Leitfähigkeit, welche die Ansammlung von Elektronen auf der Oberfläche verhindert[2]).

Ein zweiter, von dem erstgenannten grundsätzlich verschiedener Weg zur Bildübertragung ergibt sich aus der Widerstandsänderung einer dünnen Halbleiterschicht bei Belichtung. Die Wirkung des zur Übertragung von Fernsehbildern benutzten Zworykinschen Ikonoskops beruht bekanntlich auf der Entladung eines durch äußeren lichtelektrischen Effekt aufgeladenen Photozellenrasters durch die Sekundärelektronen eines das Bildfeld abtastenden Kathodenstrahlbündels. Die Frage, ob im Wege der Kathodenstrahlabtastung einer vom Bilde beleuchteten Schicht auch innere lichtelektrische Effekte benutzt werden können, ist unseres Wissens bisher nicht beantwortet worden. Die in der Patentliteratur aufgetauchten Vorschläge von Schoultz[1]), Seguin[2]) und Sabbah[3]) gehen nicht über vage Vorstellungen in dieser Richtung hinaus. Unsere diesbezüglichen Versuche erstreckten sich zunächst auf einige Halbleiter bzw. Phosphore, und zwar in ungerasterter homogener Schicht.

Versuchsanordnung für lichtelektrisch empfindliche Halbleiterschichten (Fig. 4).

In einer Hochvakuumröhre (Bildabtaströhre) ist eine mit einer dünnen Halbleiterschicht versehene Metallplatte P angebracht, auf die das

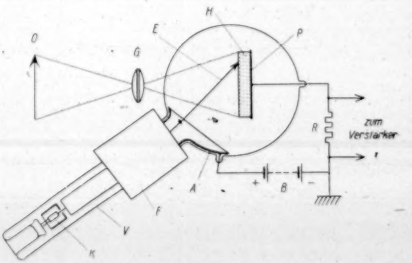


Fig. 4. Halbleiter-Bildabtaströhre. O = Objekt; G = Glaslinse; H = Halbleiterschicht; P = Metallplatte; F = Magnetische Ablenkspulen; E = Abtastelektronenstrahl; K = Kathode; V = Glaswand der Vakuumröhre; A = Anode; B = Batterie (Plattenspannung u_p); R = Eingangswiderstand des Verstärkers.

zu übertragende Bild projiziert wird. Im Gegensatz zum Ikonoskop braucht die lichtelektrisch wirksame Schicht nicht aus sehr vielen einzelnen, voneinander isolierten Teilen zu bestehen, sondern kann zusammenhängend sein. Auf der Bildseite der Platte wird in bekannter Weise

1) Dieser Befund stimmt überein mit der von Selenyi (Zeitschr. f. techn. Phys. **9**, 451, 1928) gefundenen Erscheinung, daß die auf die Innenwand eines Hochvakuum-Kathodenstrahloszillographen geschriebenen Oszillogramme noch Minuten nach dem Abschalten der Anodenspannung durch Aufstreuen von Lykopodiumpulver sichtbar gemacht werden können. Jedoch bedarf die dort angenommene Erklärung über das Entstehen der Ladungen heute wohl einer Revision.

2) Jedoch gelang bei derselben Schicht die Übertragung eines darauf projizierten Lichtbildes; vgl. den folgenden Abschnitt. Es ist aber wahrscheinlich, daß Cu_2O-Schichten mit höherem Widerstand als die von uns verwendeten auch die Übertragung von Elektronenbildern zulassen.

1) Schoultz, Französisches Patent 539613 vom 23. August 1921.

2) Seguin, Französisches Patent 577530 vom 8. Februar 1924.

3) The British Thompson Houston Co. und C. A. Sabbah, Britisches Patent 252696 vom 27. Mai 1925.

durch ein abgelenktes spitzes Kathodenstrahlbündel ein Elektronenstrichraster (bei den Versuchen 25 mal in der Sekunde je 180 Zeilen) erzeugt. Die am Auftreffort des Kathodenstrahlbündels ausgelösten Sekundärelektronen stellen momentan eine Verbindung des jeweils abgetasteten Schichtelementes mit der Anode her. Der zu dem entsprechenden Bildpunkt gehörige, im Kreis $ABRP$ fließende Signalstrom wird um so größer sein, je höher die durch den inneren lichtelektrischen Effekt hervorgerufene Leitfähigkeit der Halbleiterschicht H an der betreffenden Stelle ist[1]). Legt man den Widerstand R an den Eingang eines Breitbandverstärkers und dessen Ausgang an das Steuergitter einer Braunschen Röhre (Bildschreibröhre), deren Ablenkorgane ein synchromes Zeilenraster schreiben, so erscheint das projizierte Bild auf deren Leuchtschirm.

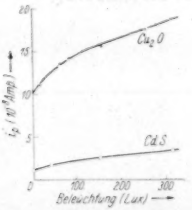


Fig. 5. Abhängigkeit des Plattenstroms i_p von der Beleuchtungsstärke der Halbleiterschicht. Unabgelenkter Abtastelektronenstrahl (Querschnitt ~ 1 mm²); Abtastspannung 800 V; Stromstärke der Abtastelektronen: $3{,}6 \cdot 10^{-8}$ A.

Die Kurven in Fig. 5 zeigen die typische, an Versuchsröhren nach Fig. 4 aufgenommene Abhängigkeit des Plattenstromes von der Beleuchtungsstärke bei Berührung mit einem ruhenden Elektronenstrahl. Fig. 6 und 7 zwei mit bewegtem Elektronenstrahl übertragene Schriftproben, von denen die eine mit einer ~ 0,05 mm dicken $ZnSCdS$-Schicht auf einer Ni-Platte, die andere mit einer 0,1 mm dicken Cu_2O-Schicht auf einer Cu-Platte durch Projektion der Buchstaben von einer Niedervoltglühlampe (25 Watt) aus erhalten wurde. Auch die Übertragung von Halbtonbildern war möglich.

Helle Stellen auf dem Sendeschirm erzeugen beim Abtasten durch den Elektronenstrahl eine positive Bildspannung an dem mit der Platte verbundenen Ende des äußeren Widerstandes R (Fig. 4)[1]). Dies entspricht einer Verkleinerung des durch die Halbleiterschicht gebildeten Widerstandes, der mit dem Sekundäremissionswiderstand zwischen Halbleiteroberfläche und Anode, dem äußeren Widerstand R und der Batterie B in Reihe den Signalstromkreis bildet. Zum Übertragen eines Positivbildes muß daher der Bildverstärker stets eine gerade Anzahl von Stufen besitzen im Gegensatz zum Zworykinschen Ikonoskop, bei dem infolge des durch äußeren lichtelektrischen Effekt hervorgerufenen Aufladememechanismus helle Bildelemente auf dem Sendeschirm beim Abtasten stets eine negative Plattenspannung erzeugen. Der Übertragungsmechanismus beruht also offenbar auf einer durch inneren lichtelektrischen Effekt hervorgerufenen Leitfähigkeitsvergrößerung der Halbleiterschicht bei Belichtung.

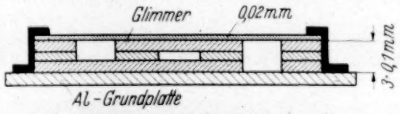
Fig. 6. Bildübertragung von einer ZnS-CdS-Schicht auf Ni-Platte (6 · 7 cm). Anordnung der Bildabtaströhre nach Fig. 4; Stromstärke der Abtastelektronen: $3{,}6 \cdot 10^{-8}$ A; Abtastspannung: 800 V; Batteriespannung u_p: — 100 V gegen Anode; R: 10000 Ω; Durchmesser des Abtastelektronenstrahls ~ 1 mm.

Fig. 7. Bildübertragung von einer Cu_2O-Schicht auf Cu-Platte (6 · 7 cm). Anordnung wie Fig. 6; Stromstärke der Abtastelektronen: $3{,}6 \cdot 10^{-8}$ A; Abtastspannung: 800 V; Batteriespannung u_p: — 100 V gegen Anode; R: 10000 Ω; Durchmesser des Abtastelektronenstrahls ~ 1 mm.

1) Dies gilt natürlich nur, solange der durch den Querschnitt des abtastenden Elektronenstrahls und die Dicke der Halbleiterschicht definierte Halbleiterwiderstand nicht klein ist gegenüber dem inneren Röhrenwiderstand (zwischen Halbleiterschicht und Anode) und dem äußeren Widerstand R.

1) Sofern der Sekundäremissionsfaktor größer als 1 ist, was bei den untersuchten Cu_2O-Schichten für Elektronengeschwindigkeiten zwischen 500 und 2000 Volt der Fall war.

Die Art der Messung mit ruhendem Abtaststrahl nach Fig. 5 schließt das Mitwirken anderer, auf Kapazitätsänderungen bzw. Aufladungserscheinungen beruhender Effekte (z. B. des aktinodielektrischen Effekts)[1]) völlig aus. Messungen mit bewegtem Elektronenstrahl (180-Zeilenstrichraster) ergaben für Cu_2O bis zu dreimal, für CdS bis zu zehnmal größere Plattenströme, deren Größe mit der Fläche des Abtastrasters und mit dem Schichtwiderstand zunahm. Da dieser Stromanteil jedoch unabhängig von der Beleuchtungsstärke ist, trägt er zur Erhöhung der Signalamplitude nicht bei. Als Ursache dafür nehmen wir entsprechend den oben beschriebenen Versuchen eine durch das Raster-



a

b

Fig. 8a und b. Prüfung des Einflusses örtlich verschiedener Kapazitätsverteilung einer Glimmerschicht auf die Bildübertragung.

elektronenbild hervorgerufene Aufladung und darauffolgende Entladung über die Schichtkapazität an.

Die Frage, ob etwa auch Kapazitätsänderungen der Halbleiterschicht an der Entstehung des Bildsignals beteiligt sein können, wurde durch Abtastung einer Isolierschicht geprüft, die aus mehreren verschieden dicken Glimmerstreifen bestand (Fig. 8a). Trotz gleicher Betriebsbedingungen wie bei der Halbleiterschicht gelang es nicht, die Streifen, deren Dicke bis 1 : 15 verschieden war, im Bild zu übertragen. Lediglich die Kanten zwischen den einzelnen Streifen wurden als außerordentlich schwaches Signal sichtbar (Fig. 8b). Aus diesem Versuch folgt wie aus der Messung mit ruhendem Abtaststrahl, daß das beobachtete Bildsignal (Fig. 6 und 7) nicht etwa durch Veränderung der Dielektrizitätskonstante an den belichteten Stellen entstanden sein kann[1]). Nach dem oben angenommenen Auflademechanismus ist ein Sichtbarwerden von Schichten verschiedener Kapazität auch nicht anzunehmen, da die Halbleiteroberfläche an diesen Stellen zwar verschiedene Gleichgewichtspotentiale, aber gleiche Ladungen erhält, so daß beim Abtasten von Schichtelementen mit verschiedener Kapazität auch gleiche Plattenströme fließen. Es scheint also alles dafür zu sprechen, daß die durch Belichtung eintretende Leitfähigkeitserhöhung allein zur Erklärung der beobachteten Wirkungen ausreicht.

Bei einer Reihe anderer Halbleiterschichten, die keinen erheblichen inneren lichtelektrischen Effekt zeigen (z. B. Al_2O_3), war der Nachweis eines gleichen Verhaltens bis jetzt nicht möglich. In einigen Fällen (ZnS-CdS-Schichten) konnte wie beim Ikonoskop eine Speicherung des Bildes über 10—30 sec wahrgenommen werden, während die Speicherdauer bei allen untersuchten Cu_2O-Schichten kleiner war als 10^{-2} sec. Bei sehr starker Beleuchtung der Schicht, die weit oberhalb der zur Bildübertragung ausreichenden Beleuchtungsstärke lag, wurden minutenlange Nachwirkungserscheinungen des aufprojizierten Bildes beobachtet.

Den Herren Dr. Bartels, Ing. Elstermann, Dr. Richter und cand. phys. Theile danken wir für die Durchführung einer Reihe wesentlicher Versuche.

1) Vgl. W. Molthan, Zeitschr. f. Phys. **4**, 262, 1921.

1) Damit stimmt die Tatsache überein, daß sich bei unseren Versuchen auch das aktinodielektrisch wenig empfindliche reine ZnS als durchaus geeignet zur Bildübertragung erwies.

Berlin, Fernsehlaboratorium Telefunken, Januar 1937.

(Eingegangen 9. April 1937.)

Über die azimutale Intensitätsverteilung der Röntgenbremsstrahlung[1]).

Von Kurt Böhm.

I. Einleitung.

Die azimutale Intensitätsverteilung, d. h. die Abhängigkeit der Strahlungsintensität von der Emissionsrichtung, gemessen durch den Winkel ϑ gegen die Kathodenstrahlrichtung, ist für die Röntgenstrahlung nicht kugelsymmetrisch, sondern besitzt ein Maximum, das mit zunehmender Energie der Kathodenstrahlen nach kleineren Azimutwinkeln ϑ sich verschiebt. Die Streuung, die die Kathodenstrahlen innerhalb der Antikathode erleiden, bewirkt, daß im allgemeinen der Verlauf einer solchen Verteilungskurve gefälscht wird. Für die Bestimmung der wahren Abhängigkeit von der Emissionsrichtung, wie sie für den Elementarprozeß gilt, ist es daher nötig, diesen störenden Einfluß der Kathodenstrahldiffusion auszuschalten. Dies kann man erreichen, wenn die normale Antikathode durch eine sehr dünne Metallfolie, in welcher die Kathodenstrahlen praktisch keine Ablenkung mehr aus ihrer Anfangsrichtung erfahren, ersetzt wird.

Eingehende Untersuchungen dieser Art wurden vor mehreren Jahren von Kulenkampff[2]) an einer $0{,}6\,\mu$ starken *Al*-Folie vorgenommen. In der Zwischenzeit tauchte auf Grund verschiedener Beobachtungen die Vermutung auf, daß selbst bei diesen dünnen Schichten die Diffusion noch eine wesentliche Rolle spielt. Die von Kulenkampff gemessenen Kurven zeigten eine Verbreiterung bei abnehmender Kathodenstrahlenenergie sowie bei konstanter Energie eine Verbreiterung und Verlagerung des Maximums nach kleineren Winkeln für größere Wellenlängen im Spektrum. Es entstand daher die Frage, wieweit diese Beobachtungen durch Diffusion noch gefälscht sind, insbesondere ob sie eine so starke Verbreiterung der Kurven bewirken kann, daß die Lage des Maximums dadurch verschoben erscheint[3]).

Ich habe deshalb die Messungen an noch dünneren Folien wieder aufgenommen, um über diesen noch vorhandenen Resteinfluß der Diffusion weitere Aussagen machen zu können. Wegen der einfacheren Herstellung solcher Folien verwendete ich statt *Al* das leichter verdampfbare, im periodischen System benachbarte *Mg*, das auf sehr dünne Zelluloidhäutchen aufgedampft wurde.

II. Meßanordnung und Ergebnisse.

Die Meßanordnung ist im wesentlichen die gleiche wie bei Kulenkampff geblieben. Da es in erster Linie nicht auf Absolutmessungen, sondern nur auf Vergleichsmessungen ankam, habe ich die bequemere photographische Methode der Ionisationsmethode zur Bestimmung der Verteilungskurven vorgezogen.

In Abb. 1 ist in einem Horizontalschnitt die Anordnung der Röntgenröhre R wiedergegeben. Die von der Glühkathode W emittierten Elektronen gelangen durch die Blenden B_1 und B_2 als wohldefiniertes Strahlenbündel auf die Folie

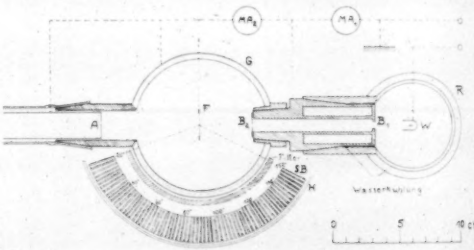


Fig. 1. Meßanordnung.

F, die in der Mitte des Gehäuses G an einem Messingrahmen gehalten wird. Nach dem Durchgang der Folie F treffen die Elektronen auf die Anode A, die so angebracht ist, daß die dort emittierte Strahlung die Messungen nicht stört. Zur Aufnahme des Films ist konzentrisch zum Gehäuse G ein Messinghalter H über einen Winkelbereich von 20—150° angeordnet. Die an der Innenwand des Gehäuses ausgelösten Sekundärstrahlen werden durch eine dem Film vorgelagerte Sekundärstrahlblende SB, die aus einzelnen Bleistreifen besteht, ausgeschaltet.

In einer Meßreihe wurde die azimutale Intensitätsverteilung für die Grenzfrequenz des Spektrums in Abhängigkeit von der Dicke der Folie bei festgehaltener Spannung von 31 kV bestimmt. Die Strahlung wurde mit 4 mm *Al* soweit ausgefiltert, daß nur ein schmaler Wellenlängenbereich nahe der Grenzwellenlänge übrigblieb. Die mittlere Wellenlänge dieses Gebietes war etwa um 14 Proz. größer als die Grenzwellenlänge, die vom Filter hindurchgelassene Intensität betrug ein Drittel der ungefilterten Strahlung. Durch die geringe Belastbarkeit der Folie

1) Vortrag gehalten auf der Tagung des Gauvereins Sachsen-Thüringen-Schlesien der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in Freiberg i. Sa. (Januar 1937).

2) H. Kulenkampff, Ann. d. Phys. **87**, 597, 1928.

3) Vgl. H. Kulenkampff, Handb. d. Phys., Bd. XXIII/2, Kap. 3.

einerseits — der auf die Folie treffende Teil des Gesamtstromes war nur $6 \cdot 10^{-8}$ Amp. — und der Ausfilterung der Strahlung andererseits handelte es sich um sehr kleine Intensitäten. Zur Erhöhung der photographischen Wirkung der Röntgenstrahlen benutzte ich zwei Verstärkerfolien, die an der Vorder- und Rückseite des Films befestigt wurden; dadurch konnte die Expositionszeit auf eine Stunde verkürzt werden. Die mit dem Registrierphotometer in Zentimeterausschlag erhaltenen Schwärzungen wurden, um den Anschluß an die von Kulenkampff beobachteten Verteilungskurven herzustellen, mittels Eichkurve in Intensitäten umgezeichnet. Die Eichkurve wurde aus der Schwärzungskurve einer 0,6 μ starken *Al*-Folie und der von Kulenkampff mittels Ionisationskammer unter gleichen Bedingungen bestimmten Verteilungskurve gewonnen.

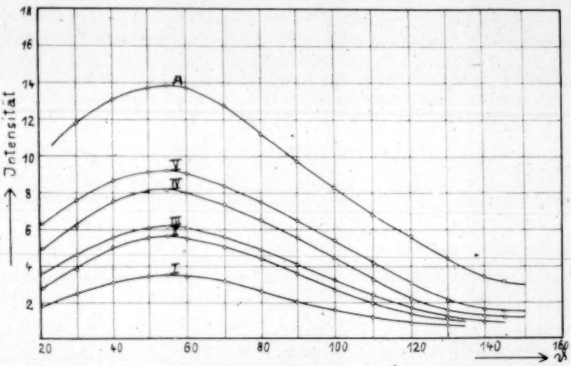


Fig. 2. Intensitätsverteilung für verschiedene Folien bei 31 kV.

Fig. 2 gibt den Verlauf der Intensitätsverteilung für *Mg*-Folien verschiedener Dicke wieder; zum Vergleich ist die Verteilungskurve einer 0,6 μ starken *Al*-Folie eingetragen, welche mit *A* bezeichnet ist. Die Dicke der Folie *I* beträgt etwa 0,15 μ, die der Folie *V* 0,45 μ. Für alle Kurven erscheint das Maximum bei 55°. Um den Einfluß der Diffusion bei den Verteilungskurven der einzelnen Folien nachweisen zu können, sind die Kurven *I*, *V* und *A* auf den gleichen Maßstab gebracht und der übersichtlichen Darstellung wegen in Polarkoordinaten umgezeichnet (siehe Fig. 3).

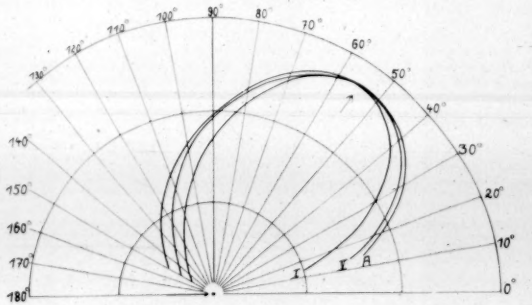


Fig. 3. Verteilungskurven von Fig. 2 in Polarkoordinaten.

Es zeigt sich sehr deutlich, daß durch die Diffusion die Kurven ihrer wahren Form gegenüber verbreitert erscheinen. Infolge Verminderung der Diffusion mit abnehmender Foliendicke sind die Intensitätsunterschiede bei den dünnsten Folien am stärksten ausgeprägt. Die Kurven zeigen hier deutlicher als die früheren, daß die Intensität in den Azimuten 0° und 180° offenbar auf den Wert Null heruntergeht. Da eine Verlagerung des Maximums durch die Diffusion nicht festgestellt werden konnte, kann hieraus die Schlußfolgerung gezogen werden, daß die Abhängigkeit der Lage des Maximums von λ und damit die Abhängigkeit der Härte der Strahlung vom Azimut reell ist.

Weitere Messungen über die azimutale Intensitätsverteilung für verschiedene Wellenlängen des Spektrums sind zur Zeit noch im Gange.

Jena, Physikalisches Institut der Universität.

(Eingegangen 1. März 1937.)

BERICHTE.

Zur Bedeutung der international vereinbarten Änderung der elektromagnetischen Einheiten. Eine Übersicht.

Von Johannes Fischer.

1. Fragestellung.

Die Generalkonferenz für Maß und Gewicht hat als ausführendes Organ der internationalen Meterkonvention beschlossen, „an Stelle des bisher allgemein benutzten Systems der internationalen Einheiten das absolute elektrische Maßsystem einzuführen ...“ Der Beschluß soll von 1940 an wirksam sein[1]).

Die Bedeutung dieser international verabredeten Änderung erkennt man wohl am klarsten, indem man sich die Frage vorlegt: Wie entstehen elektromagnetische Einheiten? Es sind zunächst grundsätzliche Gedankengänge verschiedener Art, die bis heute in der Entstehung der Einheiten zum Ausdruck gekommen sind; zu ihnen kommen entscheidend Gesichtspunkte der Feinmeßkunst, sobald Einheiten messend dargestellt werden sollen, etwa durch Verkörperungen. Grundsätzliche Überlegungen und meßtechnische Rücksichten sind erfahrungsgemäß nur in einem kleinen Bereich in befriedigenden Einklang miteinander zu bringen; dies ist der schmale und wandelbare Boden der Einheitenentstehung. Es ist nicht unnötig zu betonen, daß uns die beiden Gesichtspunkte gleich wichtig erscheinen und nach unserer Überzeugung das Problem der elektromagnetischen Einheiten verzerrt gesehen wird, wenn man die eine oder die andere Seite vernachlässigt.

Bisher hat man zwei verschiedene Grundsätze befolgt, die zu elektrischen Einheiten geführt haben; jeder der beiden Wege birgt in sich eine Reihe gleichberechtigter Mögichkeiten, von denen wir hier jeweils nur die hauptsächlich praktisch ausgenutzten Fälle als Beispiele anführen wollen.

2. Die „absoluten“ Einheiten der elektrischen und magnetischen Größen.

Ist der Abstand r, den zwei isolierte Träger der elektrischen Mengen e_1 und e_2 voneinander haben, groß gegenüber den Abmessungen dieser Ladungsträger, und sind keine weiteren Körper vorhanden, so zeigt der Versuchsbefund die zwischen den beiden Körpern wirkende Kraft K proportional zu $\frac{e_1 e_2}{r^2}$. Solange keinerlei Erfahrungen darüber vorliegen, daß der Proportionalitätsfaktor durch irgendwelche physikalischen Begleitumstände beeinflußt wird, ist man daher berechtigt zu setzen

$$K = \frac{e_1 e_2}{r^2} \,. \tag{1}$$

Wird der Versuch bei gleichem e_1, e_2, r nicht in Luft, sondern in einem anderen, gleichmäßigen Nichtleiter vorgenommen, so ändert sich nichts als der Betrag der Kraft; ist er das h-fache des in Luft gemessenen Wertes, so trägt dieser weiteren Erfahrung offenbar der Ausdruck

$$K = h \cdot \frac{e_1 e_2}{r^2} \tag{2}$$

am einfachsten Rechnung; den Faktor h, welcher dem den Zwischenraum erfüllenden Stoff eigentümlich ist, kann man also ersichtlich als reine Verhältniszahl betrachten, denn außer dem Betrag der Kraft hat sich ja nichts geändert. Noch weniger gut als elektrische Punktladungen kann man magnetische Punktmengen m versuchsmäßig verwirklichen; für sie findet man auf dem gleichen Wege

$$K = k \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2} \,, \tag{3}$$

wobei der Faktor k mit dem gleichen Recht, wie für h gezeigt wurde, als den Stoff im Zwischenraum berücksichtigende reine Verhältniszahl angesehen werden kann. Aus Gleichung (2) und (3) ergeben sich daher unmittelbar Einheiten für e und m, wenn Einheiten für Kraft und Entfernung gegeben sind. Indem wir die mechanische Kraft als Produkt von Beschleunigung und Masse definieren, verstehen wir unter der „absoluten“ Einheit der mechanischen Kraft jene Kraft, die der absoluten Einheit der Masse die absolute Einheit der Beschleunigung erteilt: $1\ \mathrm{Dyn} = 1\ \mathrm{g} \cdot \mathrm{cm/sec^2}$. Die drei Grundeinheiten für die Masse 1 g, für die Entfernung 1 cm, für die Zeit 1 sec hat man deshalb früher als „absolut“ bezeichnet, weil man sich zu der Annahme berechtigt hielt, daß diese Grundeinheiten von Ort und Zeit unabhängig sind. Man stimmt heute mit dieser Annahme zwar sicher nicht mehr in ihrem ursprünglichen Umfang überein, hat aber die Bezeichnung beibehalten für alle Einheiten, die aus diesen drei „absoluten“ Grundeinheiten abgeleitet werden. Definition

1) Bekanntmachung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, siehe z. B. Physik. Zeitschr. **37**, 38, 1936.

und Darstellung der drei absoluten Grundeinheiten ist bekannt. — Aus Gleichung (3) z. B. folgt nach dem Gesagten die „absolute elektromagnetische" Einheit der magnetischen Menge $1\,\mathrm{g}^{1/2}\cdot\mathrm{cm}^{3/2}\,\mathrm{sec}^{-1}$. Von m ausgehend kann man nun die Zustandsgrößen des magnetischen Feldes definieren; mit ihnen sind die elektrischen Größen durch die beiden Grundgesetze (die beiden Maxwellschen Gleichungen) eindeutig verknüpft, und alle weiteren Größen lassen sich aus ihnen ableiten. Im Grunde genommen sind alle diese Gleichungen Proportionalitäten mit zunächst unbekannten und willkürlichen Proportionalitätskoeffizienten. Nun bedeutet es keinerlei Einschränkung in der Beschreibung des physikalischen Geschehens, wenn man jene Koeffizienten, die nach unserer Kenntnis nicht durch physikalische Vorgänge oder Maßnahmen beeinflußt werden können, als reine Zahlen annimmt [vgl. Gleichung (1)]; die Beziehungen der restlichen Koeffizienten untereinander zeigt die Theorie, die damit deren Anzahl zu einem Minimum macht. Wenn also durch die obenerwähnte Folge von Gleichungen die Einheiten definiert werden sollen, so ist hierfür schon eine gewisse Kenntnis über solche Koeffizienten erforderlich, d. h. eine ganz bestimmte Entwicklung der Theorie ist vorausgesetzt, die durch die Gleichungen verkörpert wird[1]). Leitet man unter Beachtung dieses Umstandes durch die erwähnte Gleichungenfolge die Einheiten der magnetischen und elektrischen Größen aus der Einheit für m mit Gleichung (3) ab, so sieht man, daß an keiner Stelle über die drei, die Einheit von m bestimmenden „absoluten" Grundeinheiten hinaus eine weitere unabhängige Grundeinheit erforderlich wird. Der so entstandene Einheitensatz wird als absolutes elektromagnetisches Maßsystem bezeichnet. Mit der gleichen Berechtigung kann man aber auch von Gleichung (2) ausgehend die Einheit der elektrischen Menge festlegen, und gelangt auf dem entsprechenden Wege zu dem absoluten elektrostatischen Maßsystem. Bestimmt man einerseits die Einheit von e nach Gleichung (2) und unabhängig davon die von m aus Gleichung (3), so ergibt sich das von Helmholtz nach Gauß benannte symmetrische Maßsystem. In jedem Falle können auf diesem Wege die Einheiten sämtlicher elektromagnetischer Größen aus den drei absoluten Grundeinheiten abgeleitet werden. Notwendige und hinreichende Kennzeichen dieses Vorgehens sind erstens die zweckmäßige Festsetzung, daß auch elektromagnetische Energien in mechanischen Einheiten zu messen sind[1]), und zweitens der Umstand, daß z. B. für das elektromagnetische System der Faktor k in Gleichung (3) als reine Verhältniszahl angesehen, d. h. für eine Normalsubstanz einer unbenannten Zahl, etwa Eins, gleichgesetzt wird, und entsprechend für das elektrostatische und das Gaußsche System. Wir beantworten daher die eingangs gestellte Frage hier so: Elektromagnetische Einheiten ergeben sich dadurch, daß man für einen bestimmten Koeffizienten einen gewählten willkürlichen Wert festsetzt. Dieses Verfahren geht auf Gauß und Weber zurück und war zweifellos eine theoretische Großtat, denn man muß sich vergegenwärtigen, daß dadurch zu einer Zeit, zu der eine eigentliche elektrische Feinmeßtechnik überhaupt noch nicht vorhanden war, mit einem Schlage für alle elektromagnetischen Größen Einheiten geschaffen waren, die auf die bekannten und nach dem damaligen Standpunkt der Physik besonders vertrauenswürdigen Grundmaße der Mechanik zurückgingen. Daß diese Auffassung nicht die allein mögliche ist, wird sich im folgenden zeigen.

3. Weiterentwicklung der „absoluten elektromagnetischen" Einheiten. Verkörperung von Einheiten.

Für den praktischen Gebrauch vor allem der messenden Physik und Technik, deren Entwicklung bekanntlich nach Erfindung der absoluten Einheiten begann und sich daher mit diesem wertvollen theoretischen Erbe auseinandersetzen mußte, erwiesen sich nun die auf diesem Wege aus den drei absoluten mechanischen Grundeinheiten geschaffenen „absoluten elektromagnetischen" Einheiten häufig als unbequem groß oder klein. Man erfand daher für brauchbare dekadische Vielfache bestimmte Namen, insbesondere für die absolute elektromagnetische Stromeinheit

$$\frac{1}{10}\sqrt{\mathrm{Dyn}} \equiv 1\ \text{abs. Amp}\,, \qquad (5a)$$

und für die absolute elektromagnetische Spannungseinheit

$$10^8\,\frac{\mathrm{cm}}{\mathrm{sec}}\sqrt{\mathrm{Dyn}} \equiv 1\ \text{abs. Volt}\,, \qquad (5b)$$

und ähnlich für die meisten anderen absoluten elektromagnetischen Einheiten; den so hergerichteten Einheitensatz nennen wir das „ursprüngliche technische Maßsystem"; die Einheiten

[1]) Vgl. hierzu z. B. R. T. Birge, Am. Physics Teacher **3**, 102 und 171, 1935.

[1]) Wonach z. B. die in einem Kondensator gespeicherte elektrische Energie in den gleichen Einheiten gemessen wird wie die kinetische Energie einer bewegten Masse.

für Strom und für Spannung sind in ihm also abgeleitete Einheiten, die Energieeinheit ist die absolute mechanische. Für praktische Messungen wurde aber das Bedürfnis immer stärker, Normale (im Sinn von Eichstücken oder Modellen) zu haben, die zugleich hinreichend bequem und genau sind. Dies Bedürfnis betraf in erster Linie Strom- und Spannungseinheiten, denn es trat in Physik und Technik immer klarer in Erscheinung, daß zur Bestimmung elektrischer und magnetischer Größen neben Längen und Zeiten in erster Linie Ströme (Ladungen) und Spannungen (Spannungsstöße) zu messen sind, hingegen die Masse eine Größe zweiten Ranges ist. Man legte daher international bestimmte Verkörperungen fest. Die Ladungseinheit 1 Amp · sec wird als die mit dem Voltameter festzustellende Ladung einer bestimmten Menge Silberionen dargestellt, die Widerstandseinheit $1\ \frac{\text{Volt}}{\text{Amp}} = 1$ Ohm wird durch den Widerstand eines bestimmten Quecksilberfadens unter gewissen Bedingungen wiedergegeben, und die Spannungseinheit 1 Volt ist durch die zahlenmäßige Festlegung der Spannung einer Quecksilber-Kadmiumkette bestimmter Vorschrift gegeben. In den einzelnen Ländern der Meterkonvention wurden dann zwei dieser drei Einheiten durch Gesetz als Grunddarstellungen (Urmaße) festgelegt. Es entsprach der damaligen Feinmeßkunst, in erster Linie Darstellungen für 1 Amp und für den Quotienten 1 Volt/Amp zu bestimmen; neben diesem hätte auch grundsätzlich an Stelle einer einzelnen Einheit das Produkt beider festgelegt werden können; es ist kennzeichnend, daß dieser Weg damals nicht beschritten wurde. Zur Zeit dieser Vereinbarungen waren natürlich die verabredeten Verkörperungen in Übereinstimmung mit den absoluten Einheiten in dem Grade der damals erreichten Meßgenauigkeit, und daher das Produkt 1 Volt · Amp · sec ein ungebrochenes dekadisches Vielfaches von 1 Dyn · cm. Aber mit dem Fortschreiten der Feinmeßkunst mußte sich herausstellen, daß die absoluten Einheiten durch die vereinbarten Verkörperungen nur in einem beschränkten Grade der Genauigkeit angenähert werden. Bezeichnen wir die durch Verkörperung festgelegten Einheiten als 1 emp. Amp und 1 emp. Volt (in Erinnerung daran, daß sie durch Empirie bestimmt sind[1]), so steht also fest:

$$1 \text{ abs. Amp.} \neq 1 \text{ emp. Amp},$$
$$1 \text{ abs. Volt} \neq 1 \text{ emp. Volt},$$

und der Grad der Ungleichheit kann um so genauer angegeben werden, je weiter die Feinmeßkunst fortschreitet.

1) Wir vermeiden die Bezeichnung „legal" oder „international", die letztere schon deswegen, weil ja die neuen Einheiten zugleich absolute, internationale und praktische Einheiten sein sollen.

4. Bemerkung über die Benennungen der elektrischen und magnetischen Größen.

Die „absoluten" Einheiten waren entstanden, indem für die magnetische oder (und) die elektrische Menge aus dem betreffenden Punktkraftgesetz Gleichung (2), (3) eine Einheit definiert wurde; dabei wurde berechtigterweise ein jeweils auftretender Faktor (h, k) als Verhältniszahl angesehen. Daraus folgt aber hinsichtlich der definitionsweise geltenden Beziehungen

$$\mathfrak{D} = \frac{1}{h}\mathfrak{E}; \qquad \mathfrak{B} = \frac{1}{k}\mathfrak{H},$$

daß die Art der Einheit für Verschiebungsdichte $\mathfrak{D}$ und elektrische Feldstärke $\mathfrak{E}$ einerseits, oder (und) für Induktion $\mathfrak{B}$ und magnetische Feldstärke $\mathfrak{H}$ andererseits die gleiche sein müsse. Indem wir die Art der Einheit einer Größe als „Benennung" bezeichnen[1]), sprechen wir diese Beziehung durch die Gleichungen aus

$$\mathsf{D} = \mathsf{E}; \qquad \mathsf{B} = \mathsf{H}. \tag{4}$$

Diese Vorschrift kann man aber als Willkür bewerten. Um daher zu einer allgemeineren Auffassung zu gelangen, wird man am einfachsten nach Maxwell so vorgehen, daß man die zu definierenden Größen zusammenstellt und ihre Anzahl vergleicht mit der Anzahl der zwischen ihnen bestehenden, durch Gleichungen ausgedrückten Beziehungen[2]). In diesem Zusammenhang muß der häufig nicht ausgeprochene Umstand hervorgehoben werden, daß für den

1) Die Einheit einer physikalischen Größe, angegeben in Grundeinheiten, deren Zahlenwert offen gelassen, deren Art aber gegeben ist, bezeichnen wir in Anlehnung an Helmholtz als „Benennung"; diese stellen wir durch besondere Buchstaben dar, z. B.: absolute mechanische Energieeinheit $1\ \text{cm}^2 \cdot \text{g} \cdot \text{sec}^{-2}$, Benennung (Dimension) $\mathsf{L}^2\mathsf{MT}^{-2}$. Da es somit definitionsgemäß nur sinnvoll ist, von der Benennung in bezug auf bestimmte, der Art nach bekannte Grundeinheiten zu sprechen, stimmt einerseits die Anzahl der Benennungen genau mit der Anzahl der Grundeinheiten eines Einheitensatzes überein, andererseits ist aus diesem Grunde bei der grundsätzlichen Möglichkeit, Grundeinheiten zu wechseln (Grundeinheiten willkürlich zu bestimmen), die Benennung nicht eindeutig kennzeichnend für eine physikalische Größe, vielmehr sagt sie als „Dimension" im Fourierschen Sinne aus, wie der Betrag einer abgeleiteten Einheit sich ändert, wenn die Beträge der Grundeinheiten geändert werden (vgl. Joh. Fischer, Physik. Zeitschr. **37**, 120, 1936; Joh. Fischer, Einführung in die klassische Elektrodynamik. Berlin 1936).

2) J. Clerk Maxwell, Lehrbuch, Art. 620 bis 624. Kurze Darstellung bei H. Helmholtz, Wied. Ann. d. Phys. u. Chem. **17**, 48–51, 1882 (253).

vorzunehmenden Vergleich in den formelmäßigen Darstellungen der Beziehungen willkürliche Zusätze und Unterlassungen gedanklicher oder formaler Art nicht vorhanden sein dürfen. Solche verbotenen Willkürlichkeiten sind z. B. Vorschriften von der Art der Gleichung (4), daß verschiedene Größen die gleiche Benennung haben müßten, oder auch ein willkürlicher Vorbehalt über die Benennung einer Größe oder eines in irgendeiner Gleichung vorhandenen Koeffizienten[1]). In den Gleichungen vorhandene reine Zahlenfaktoren wie $1/_2$, $4\pi^2$) u. dgl. sind für die Benennungen belanglos. Führt man unter Beachtung dieser Voraussetzungen, die natürlich bis zu einem gewissen Grade als Werturteil empfunden werden können, den Vergleich durch, so ergibt sich, daß die Benennungen aller elektrischen und magnetischen Größen durch Länge, Zeit und Energie (Masse) nicht vollständig bestimmt sind, sondern daß zu diesen noch genau eine unabhängige Festlegung hinzutreten muß. Indem Maxwell als vierte Grundeinheit einmal eine selbständige Einheit für die elektrische Ladung, das andere Mal für die magnetische Menge voraussetzt, bestimmt er die Benennungen vollständig, ausgedrückt in höchstens vier Grundeinheiten (sein elektrisches und sein magnetisches Einheitensystem, Art. 623). Der genannte Vergleich hat, mit anderen Worten, gelehrt, daß — unter Einhaltung der erwähnten Voraussetzungen — in den elektromagnetischen Gleichungen vier Größen mehr auftreten, als Gleichungen vorhanden sind; vier unabhängigen Größen entsprechen vier unabhängige Grundeinheiten[3]). Dieser Erkenntnis hat vor allem G. Mie zu allgemeiner Anerkennung verholfen[4]), und neuerdings hat hierüber A. Sommerfeld ausgesprochen: „Die orthodoxe Zahl 3 (der Grundeinheiten), die den sog. absoluten Maßsystemen zugrunde liegt, konnte so lange verbindlich erscheinen, als man hoffen konnte, die Elektrizität auf Mechanik zurückzuführen. Diese Zeit ist vorüber. Man tut den elektromagnetischen Größen Gewalt an, wenn man sie in das Prokrustesbett der drei Einheiten hineinzwängt. Dagegen befinden sie sich in dem System der vier Einheiten ganz bequem . . .[1])". An dem Beispiel der aus selbständigen Grundeinheiten für Länge, Zeit, Kraft und Ladung entstehenden Benennungen hat Sommerfeld gezeigt, daß das System der vier Einheiten sich bei den eigentlichen mechanischen und energetischen Größen von selbst auf das System der drei mechanischen Einheiten reduziert. „Bei den eigentlich elektromagnetischen Größen dagegen bildet die vierte Einheit einen wesentlichen Bestandteil ihres dimensionellen Charakters." Die hierfür gegebenen überzeugenden Beispiele lassen sich beliebig vermehren.

5. Das „praktische Miesche Maßsystem".

Mit Rücksicht auf die unbestreitbare Tatsache, daß die Bestimmung elektromagnetischer Größen praktisch immer auf die Messung von Längen, Zeiten, Strömen und Spannungen zurückgeht, hat G. Mie als unabhängige Grundeinheiten 1 cm, 1 sec, 1 Amp, 1 Volt gewählt. Den aus diesen Grundeinheiten abgeleiteten Einheitensatz wollen wir das „praktische Miesche Maßsystem" nennen[2]). Aus dem erwähnten Grunde, und wegen des Fehlens willkürlicher Einheitenbeziehungen von der Art der Gleichung (4), lassen die abgeleiteten Einheiten

1) Beispiel: Die Benennung einer Fläche ist nichts anderes als L^2; oder: wenn der Strom der Ladungsänderung in der Zeiteinheit nicht gleich, sondern proportional gesetzt wird, soll der Proportionalitätsfaktor nicht eine willkürlich vorgeschriebene, sondern eine aus dem Gleichungensatz sich ergebende Benennung haben (z. B. eine unbenannte Zahl sein). Über das Auftreten und die Stellung von Koeffizienten in den Gleichungen und ihre Beziehungen zueinander siehe ausführlicher: Joh. Fischer, Zeitschr. f. Phys. **100**, 364 bis 365, 1936.

2) Über das Auftreten des Faktors 4π und seine Stellung in den elektromagnetischen Gleichungen siehe z. B. Joh. Fischer, a. a. O., S. 363 oder Einführung, S. 170ff.

3) Durch eine willkürliche Einheitenvorschrift von der Art der Gleichung (4) kommt man auf die Zahl 3 der „absoluten" Grundeinheiten. Auch in der Mechanik kann man durch entsprechende Festsetzungen die Anzahl der Grundeinheiten kleiner machen als 3. Eine diesbezügliche Überlegung findet sich z. B. schon bei H. Helmholtz, a. a. O., S. 44—45.

4) Man vergleiche hierzu das Vorwort seines klassischen „Lehrbuches der Elektrizität und des Magnetismus" (Stuttgart 1912). S. weiter die 1. Anm. des 5. Abschn.

1) Zeitschr. f. techn. Phys. **16**, 420, 1935.

2) Die Frage, ob als Einheiten für Länge und Masse 1 cm und 1 g, oder 1 m und 1 kg gelten sollen, kann als hier von geringerer grundsätzlicher Bedeutung bewertet und darum unerörtert bleiben. Den Gebrauch von m und kg hat G. Giorgi vorgeschlagen, der schon 1901 ein Maßsystem mit vier selbständigen Grundeinheiten angegeben hat (Atti dell' AEJ). Man spricht daher in diesem Zusammenhang auch vom Giorgischen MKS-System (m-kg-sec-System). Neben der ersten folgerichtigen Einführung in die Elektrizitätslehre (a. a. O.), Hand in Hand mit der heute sehr verbreiteten „natürlichen" Art, die elektromagnetischen Erscheinungen darzustellen, verdanken wir G. Mie die ausführliche theoretische Grundlegung dieses Systems (Elektrodynamik, Band II/1 des Handbuches der Experimentalphysik, Leipzig 1932, herausgeg. von Wien und Harms), weswegen wir seinen Namen mit den hier dargelegten Grundsätzen verbinden. Die erste (theoretische) Anwendung von vier selbständigen Grundeinheiten hat, wie gezeigt, Maxwell geübt.

[Benennungsformeln[1]] dieses Systems in der Mehrzahl der Fälle unmittelbar die Definition der Größe oder das Verfahren erkennen, nach dem sie grundsätzlich gemessen werden kann, im starken Gegensatz zu den „absoluten" Benennungen, die eine derartige ungezwungene Auslegung nur in seltensten Ausnahmen erlauben. In diesem Vorteil tritt die grundsätzliche Bedeutung des Mieschen Systems klar zutage: Es anerkennt einerseits die Unmöglichkeit, die elektromagnetischen Erscheinungen vollständig mechanisch zu beschreiben, andererseits die Entwicklung der Meßtechnik, indem es unabhängige elektrische Grundeinheiten hat. Da von zweien solcher Gebrauch gemacht wird, ist notwendig die Energieeinheit nicht ein mechanisches Maß (1 Dyn · cm), sondern ein selbständiges[2]) elektromagnetisches Maß (1 Volt · Amp · sec), und die Masseneinheit ist daher hier keine unabhängige Grundeinheit, wie in der Mechanik, sondern eine abgeleitete Einheit (dieser Umstand kann innerhalb der Elektrizitätslehre kaum stören, höchstens dort, wo sie an die Mechanik angrenzt).

Als elektromagnetische Grundeinheiten bieten sich zunächst am einfachsten zwei der drei obenerwähnten, international vereinbarten „empirischen" Einheiten an; diese haben somit, und dies ist von entscheidender Wichtigkeit, für die hier vorliegende Auffassung grundsätzlich den Sinn unabhängiger, gegebener Einheiten, haben somit hier nicht das geringste mehr mit dem Wunsche zu tun, daß mit ihrer Hilfe gewisse „absolute" Einheiten verkörpert werden sollten (man könnte diesen Umstand vom rein grundsätzlichen Blickpunkt aus geradezu als zufällige Ähnlichkeit bezeichnen). Bei der Auffassung der empirischen Einheiten als unabhängige Grundeinheiten ist also 1 Amp · sec genau gleich der Ladung von $1{,}11800 \cdot 10^{-3}$ g Silberionen, und die Leitfähigkeit des reinen Quecksilbers im Verhältnis zu seiner Dichte bei 0° C ist genau gleich $\frac{106{,}300^2 \text{ Amp} \cdot \text{cm}^2}{14{,}4521 \text{ Volt} \cdot \text{g}}$. Wir beantworten daher hier die eingangs gestellte Frage der Einheitenentstehung so: Einheiten elektromagnetischer Größen werden dadurch bestimmt, daß man einer in der Natur gegebenen, als befriedigend konstant beurteilten Größe (Eigenschaft) von der Art der festzulegenden Einheit einen nach internationalem Übereinkommen festgelegten Zahlenwert erteilt. Die Festlegung der genannten Zahlenwerte ist ja nicht physikalisch oder logisch notwendig, sondern eine reine Zweckmäßigkeitsfrage. Es ist außerordentlich bemerkenswert, daß durch dieses Vorgehen elektromagnetische Einheiten nach genau dem gleichen Grundsatz bestimmt werden, nach dem auch die „absoluten" Einheiten der Mechanik seinerzeit festgelegt wurden: auch 1 cm ist ja lediglich dadurch bestimmt, daß einer in der Natur vorkommenden Länge ein bestimmter Zahlenwert beigelegt wurde, und das gleiche gilt für 1 sec; das gleiche Vorgehen findet sich auch bei der Temperatureinheit. Es wird häufig nicht erkannt, daß dieser zweite Weg der Bildung elektromagnetischer Einheiten dem ersten Weg der „absoluten" Bestimmung logisch vollkommen gleichwertig ist; die Erörterung der Einheitenentstehung darf sich nicht, wie es oft geschieht, ausschließlich auf die Bildung der absoluten elektrischen Einheiten (Festsetzung einer Einheitenbeziehung durch Verfügung über gewisse Koeffizienten) beziehen. Die Mieschen Grundsätze werden auch davon nicht berührt, daß man z. B. sowohl die Art der Darstellung als auch den Betrag der Grundeinheiten ändert[1]). Der Wert der Mieschen Auffassung liegt, wie gezeigt, im Grundsätzlichen, nicht in der technischen Darstellung der einen oder der anderen Einheit. Bei den unbestreitbaren Vorteilen der Ausdrucksweise des praktischen Mieschen Systems wird man diese sogar zweckmäßig beibehalten, selbst wenn die Bildung der Grundeinheiten nicht mehr in Strenge nach dem obenerwähnten Grundsatz geschieht. Hierauf kommen wir am Schlusse zurück.

Hier sind also die Stromeinheit und die Spannungseinheit unabhängige Grundeinheiten, die Energieeinheit ist eine elektromagnetische Einheit; in dem absoluten System ist die Energieeinheit die absolute mechanische, Strom- und Spannungseinheit sind abgeleitete mechanische Einheiten.

6. Bestimmung der Maßsystemkonstanten.

Zur Festlegung jedes Maßsystems in der Elektrizitätslehre ist es, wie man leicht sieht, erforderlich, jeweils drei Maßsystemkonstanten durch Messung zu bestimmen. Diese können in allen Fällen praktisch oder grundsätzlich auf die folgenden drei Messungen zurückgeführt werden:

a) Eine Kapazitätsmessung.

Man mißt an einem genügend flachen Plattenkondensator (im Vakuum, sehr angenähert in Luft) elektrisch:

$$C = \frac{\text{Ladung}}{\text{Spannung}} \text{ in } \frac{\text{Amp} \cdot \text{sec}}{\text{Volt}},$$

1) Eine Übersicht z. B. in: Joh. Fischer, Einführung, S. 177.

2) Gerade so, wie das Energiemaß der Wärmelehre (1 cal) keine mechanische Einheit ist.

1) Formeln zur Umrechnung von einem in ein anderes Miesches System siehe G. Mie, a. a. O.

und geometrisch:

$$q = \frac{\text{Plattenfläche}}{\text{Plattenabstand}} \text{ in cm}.$$

Der daraus errechnete Quotient heiße „elektrische Konstante" ε_0:

$$\frac{C}{q} = \varepsilon_0 . \tag{6}$$

b) Eine Selbstinduktionsmessung.

Man mißt an einer hinreichend langen, mit z Windungen gleichmäßig bewickelten Zylinderspule oder an einer Toroidspule (im Vakuum, sehr angenähert in Luft) elektrisch:

$$L = z^2 \cdot \frac{\text{Fluß der magn. Induktion}}{\text{Stromstärke}} \text{ in } \frac{\text{Volt} \cdot \text{sec}}{\text{Amp}},$$

und geometrisch:

$$q' = z^2 \cdot \frac{\text{Spulenfläche}}{\text{Spulenlänge}} \text{ in cm}.$$

Der daraus errechnete Quotient heiße „magnetische Konstante" μ_0:

$$\frac{L}{q'} = \mu_0 . \tag{7}$$

c) Eine Kraftmessung in einem magnetischen oder elektrischen Felde.

Wir nennen nur eine Möglichkeit von vielen: man stellt einen vom Strom J durchflossenen langen geraden Draht der Länge l senkrecht zu der Richtung eines homogenen magnetischen Feldes von der Flußdichte B; man mißt elektrisch: das Produkt

$$B \text{ in } \frac{\text{Volt} \cdot \text{sec}}{\text{cm}^2} \cdot J \text{ in Amp} \cdot l \text{ in cm},$$

und mechanisch: die auf den Draht ausgeübte Kraft

$$K \text{ in Dyn}.$$

Der daraus errechnete Quotient heiße A:

$$\frac{K}{BJl} = A \text{ in } \frac{\text{Dyn} \cdot \text{cm}}{\text{Volt} \cdot \text{Amp} \cdot \text{sec}} . \tag{8}$$

Die Deutung, die diesen drei Versuchen in den beiden Arten von Maßsystemen gegeben wird, ist verschieden. Beim praktischen Mieschen Maßsystem ist sie sehr einfach: Die vier Grundeinheiten 1 cm, 1 sec, 1 Amp, 1 Volt sind unabhängig gegeben, daher sind die Werte von A, ε_0, μ_0 unmittelbare Ergebnisse der drei Messungen. A ist hier das mechanische Äquivalent der elektromagnetischen Energieeinheit, ferner ist μ_0 das Verhältnis der beiden magnetischen Feldgrößen Induktion $\mathfrak{B}$ und Feldstärke $\mathfrak{H}$ im leeren Raume, und entsprechend ist ε_0 das Verhältnis der beiden elektrischen Feldgrößen Verschiebungsdichte $\mathfrak{D}$ und Feldstärke $\mathfrak{E}$ im leeren Raume. Die Benutzung jeweils eines Paares von Feldgrößen bedeutet gar nichts weiter, als die Anerkennung der Tatsache, daß es für das elektrische Feld und ebenso für das magnetische Feld je zwei grundsätzlich verschiedene Meßverfahren gibt; in beiden Fällen haben beide Meßverfahren zu je zwei grundsätzlich verschiedenen, aber gleichberechtigten Definitionen geführt. Die selbstverständliche Tatsache, daß zur vollständigen Beschreibung der elektromagnetischen Vorgänge im leeren Raume definitionsweise nur ein elektrischer und nur ein magnetischer Feldvektor notwendig ist, wird davon nicht berührt. Indem man für den leeren Raum $\mathfrak{B} = \mu_0 \mathfrak{H}$, $\mathfrak{D} = \varepsilon_0 \mathfrak{E}$, für einen gleichmäßigen Stoff $\mathfrak{B} = \mu \mathfrak{H}$, $\mathfrak{D} = \varepsilon \mathfrak{E}$ schreibt, kommt man zu der Auffassung, daß der leere Raum, als Träger der elektromagnetischen Erscheinungen, im Grunde nichts weiter ist als eine ideale Normalsubstanz, weswegen auch μ_0 und ε_0 als Permeabilität und Dielektrizitätskonstante des leeren Raumes bezeichnet werden. Diese Vorstellung ist aber der Elektronentheorie durchaus fremd. Sie kann daher berechtigtermaßen diese Deutung von μ_0 und ε_0 ablehnen. Nun ist es aber stets, also auch in der mikroskopischen Elektrodynamik, möglich, μ_0 und ε_0 nicht als selbständige Konstante aufzufassen, sondern als Verbindungen zweier anderer „universeller" Konstanten, nämlich der Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Störungen c und des Verhältnisses Γ_0 der elektrischen zur magnetischen Feldstärke in einem Punkt einer elektromagnetischen Welle, beides im leeren Raum, denn es gilt[1])

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{c\Gamma_0} , \tag{9}$$

$$\mu_0 = \frac{\Gamma_0}{c} . \tag{10}$$

In bezug auf das praktische Miesche Maßsystem ist die Benennung des Feldstärkenverhältnisses: Spannung/Strom, weswegen es auch nicht ganz glücklich als „Wellenwiderstand des leeren Raumes" bezeichnet wird, und Γ_0 ist im gleichen Sinne eine konstante Größe,

1) Daher hat man vermöge $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$, $\Gamma_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}$ bei praktikumsmäßiger Ausführung der angegebenen Versuche a) und b) eine einfache Möglichkeit für die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit und des Feldstärkenverhältnisses.

wie die Lichtgeschwindigkeit c [Benennung: Länge/Zeit[1]].

Die gegenwärtig besten Meßwerte sind[2])

$$A = 1{,}00043 \cdot 10^{7} \frac{\text{Dyn} \cdot \text{cm}}{\text{emp.Volt} \cdot \text{emp. Amp} \cdot \text{sec}}, \quad (11a)$$

$$\mu_0 = 1{,}25598 \cdot 10^{-8} \frac{\text{emp.Volt} \cdot \text{sec}}{\text{emp. Amp} \cdot \text{cm}}, \quad (11b)$$

$$\varepsilon_0 = 0{,}8859 \cdot 10^{-13} \frac{\text{emp. Amp} \cdot \text{sec}}{\text{emp.Volt} \cdot \text{cm}}, \quad (11c)$$

oder

$$c = 2{,}9979 \cdot 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{sec}}, \quad \left| \quad (11d) \right.$$

$$\Gamma_0 = 376{,}53 \frac{\text{emp.Volt}}{\text{emp. Amp}}. \quad \left| \right.$$

Die Deutung der drei Versuche ist eine grundsätzlich andere bei den „absoluten" Systemen. Bei ihnen sind nicht die vier Grundeinheiten gegeben und die drei Maßsystemskonstanten sind Meßergebnisse, sondern die beiden durch Gleichung (5a, b) definierten abgeleiteten Einheiten 1 abs. Volt und 1 abs. Amp werden so eingerichtet, daß die drei Maßsystemkonstanten mit willkürlich vorgeschriebenen Werten identisch übereinstimmen; dieses Vorgehen entspricht ja der im 2. Abschnitt gezeigten Bildung der absoluten Einheiten. Bei dem von uns betrachteten, aus dem absoluten elektromagnetischen abgeleiteten ursprünglichen technischen System sind diese Festsetzungen:

$$1\,\text{abs.Volt} \cdot \text{abs. Amp} \cdot \text{sec} \equiv 1 \cdot 10^{7}\,\text{Dyn} \cdot \text{cm}, \quad (12a)$$

$$\mu_0 \equiv \frac{4\pi}{10^{9}} \frac{\text{abs.Volt} \cdot \text{sec}}{\text{abs.Amp} \cdot \text{em}}, \quad (12b)$$

$$\varepsilon_0 \equiv \frac{10^{9}}{4\pi (c)^2} \frac{\text{abs. Amp} \cdot \text{sec}}{\text{abs.Volt} \cdot \text{cm}}. \quad (12c)$$

Hierin ist (c) der Zahlenwert der Lichtgeschwindigkeit im leeren Raum, angegeben in cm/sec. Aus Gleichung (11) und (12) folgt nach dem derzeitigen Stande der Feinmeßtechnik[3])

$$1\,\text{emp. Amp} = 0{,}99996\,\text{abs. Amp}, \quad (13a)$$

$$1\,\text{emp.Volt} = 1{,}00047\,\text{abs.Volt}. \quad (13b)$$

1) Vgl. z. B. F. Emde, Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. **48**, 146, 1936. — In den nach Gauß und nach Lorentz genannten absoluten Systemen wird durch willkürliche Festsetzung die Benennung von e und m und daher auch die von $\mathfrak{E}$ und $\mathfrak{H}$ gleichgemacht, wodurch Γ_0 zur unbenannten Zahl Eins wird. Daß aber zwei grundsätzlich physikalisch verschiedene Größen, nämlich der elektrische und der magnetische Zustand, in der gleichen Einheit gemessen werden, darf man als eine mindestens ebenso große begriffliche Schwierigkeit für den Lernenden ansehen, wie die ursprüngliche einfache Deutung von μ_0 und ε_0.

2) Nach G. Mie, a. a. O.

3) Hinsichtlich der in den Gleichungen (13) und (11) angegebenen Zahlenwerte findet man kleine Streuungen in den verschiedenen diesbezüglichen Mitteilungen. Nur eine eingehende Würdigung aller hierzu ausgeführten Messungen, die natürlich weit aus dem Rahmen dieser Abhandlung fallen würde, könnte völlig verbindliche Werte vermitteln.

7. Die Bedeutung der Änderung der Einheiten.

Man sieht an dieser Stelle leicht die mit der angekündigten Änderung der elektrischen Einheiten verfolgte Absicht ein: Es wäre vor allem hinsichtlich der Gleichungen (11a), (13a), (13b) erwünscht, bequemere Zahlenfaktoren zu haben. Man könnte es auch als grundsätzlich befriedigend verzeichnen, wenn eine Gleichung von der Art der Gleichung (12a) an die Stelle von Gleichung (11a) treten würde, indem man hierin die Anerkennung der Tatsache erblickte, daß elektromagnetische und mechanische Energie nur gleichwertige Formen derselben physikalischen Größe sind. Bei einer vorzunehmenden Änderung der Einheiten könnte hinsichtlich ihrer Darstellung zugleich einerseits der Entwicklung der Feinmeßkunst Rechnung getragen werden, andererseits könnten grundsätzliche Erwägungen darüber berücksichtigt werden, welche physikalischen Größen oder Eigenschaften in erster Linie als konstant zu bewerten sind, und aus beiden Überlegungen heraus könnte eine Änderung der Darstellungen verabredet werden.

Was die zu treffenden Maßnahmen angeht, standen zwei Meinungen einander gegenüber:

a) Man konnte zunächst daran denken, die neuen Einheiten Amp und Volt gegenüber den empirischen so abzuändern, daß für das Produkt 1 Amp · Volt an Stelle von Gleichung (11a) erfüllt ist

$$1\,\text{Volt} \cdot \text{Amp} \cdot \text{sec} = 10^{7}\,\text{Dyn} \cdot \text{cm}. \quad (14a)$$

Wenn weiter zur vollständigen Bestimmung der neuen Einheiten nicht eine von ihnen unabhängig, sondern ihr Quotient festgelegt würde, und zwar derart, daß er den bisherigen empirischen Wert unverändert beibehalten würde:

$$1\,\frac{\text{Volt}}{\text{Amp}} = 1\,\text{emp.Ohm} \equiv 1\,\frac{\text{emp.Volt}}{\text{emp. Amp}}, \quad (14b)$$

so würde man den großen Vorteil haben, daß die Eichwerte der Normalien vor allem für Widerstände, daher aber auch für Induktivitäten und Kapazitäten grundsätzlich unverändert blieben. Der Vergleich von Gleichung (14a, b) mit Gleichung (11a) zeigt, daß bei diesem Vorschlag die neuen Einheiten Volt und Amp um (rund) $2 \cdot 10^{-4}$ kleiner sind als die empirischen

Einheiten. Das Normalelement hat also eine um $2 \cdot 10^{-4}$ größere neue Voltzahl. Indem man geltend macht, daß ein Widerstandsnormal mit besonders großer Genauigkeit gemessen werden kann, kommt man dazu, neben die drei „absoluten" mechanischen Grundeinheiten als viertes unabhängiges Grundmaß ein Widerstandsnormal zu stellen[1]), nämlich das empirische Ohm, verkörpert durch einen Quecksilberfaden unter den erwähnten Bedingungen. Dies ist der Vorschlag von G. Giorgi. Die Festlegung einer Widerstandseinheit zu einem bestimmten Betrage ist dabei rein begrifflich der gleiche Vorgang wie die ursprüngliche Festlegung des Meters und der Sekunde, nämlich die Einheitenbildung auf dem zweiten Wege (5. Abschnitt). Weiter ist es aber in grundsätzlicher Hinsicht, wie auch R. W. Pohl bemerkt hat[2]), durchaus gleichberechtigt, ob man nun den Quotienten $1\ \frac{\text{Volt}}{\text{Amp}}$ durch die international vereinbarte Verkörperung des empirischen Ohm bestimmt oder durch Messung an einer Spule, wobei μ_0 den Wert der Gleichung (11b) hat, oder schließlich durch Messung von ε_0 in der Auslegung der Gleichung (11c). Es könnte sogar grundsätzlich befriedigender erscheinen, nicht nach dem ursprünglichen Giorgischen Vorschlag der Eigenschaft eines Stoffes einen gewählten Wert zu geben, nämlich den Wert des spezifischen Widerstandes des Quecksilbers vorzuschreiben, sondern einer universelleren Größe, etwa μ_0, einen gewählten Wert beizulegen. Genau dies tut ja, wie gezeigt, das absolute elektromagnetische und das ursprüngliche technische System; während aber für dieses die Konstante den Wert $(\mu_0)_{\text{abs}}$ der Gleichung (12b) hat, hat sie für den hier erwähnten Vorschlag den Wert $(\mu_0)_{\text{emp}}$ der Gleichung (11b). Man kann daher diesen Vorschlag so formulieren, daß neben der grundsätzlich einleuchtenden Energiebeziehung Gleichung (14a) nicht die Eigenschaft eines Stoffes, sondern eine Eigenschaft des physikalischen Raumes festgelegt wird[3]) — das letztere mit allen Vorbehalten, die hinsichtlich der „praktischen" Deutung von μ_0 und ε_0 im 5. Abschnitt gemacht wurden: μ_0 entweder als „Permeabilität des leeren Raumes" oder als Quotient des Feldstärkenverhältnisses zur Lichtgeschwindigkeit im leeren Raum nach Gleichung (10).

b) Die internationale Kommission hat diesen Vorschlag nicht angenommen, vielmehr wurde beschlossen, die neuen Einheiten definitionsweise gleich den absoluten Einheiten 1 abs. Volt und 1 abs. Amp zu machen. Die Bedeutung dieses Beschlusses sehen wir ganz einfach an den drei Grundversuchen des 6. Abschnittes: Diese sollen also nicht, wie bisher bei den „praktischen" Einheiten, nach Gleichung (11a, b, c) ausgelegt werden, auch nicht nach dem vorangegangenen Vorschlag entsprechend Gleichungen (14a, b), (11b), sondern entsprechend der „absoluten" Auffassung gemäß Gleichung (12a, b). Es werden also einerseits die Verkörperungen durch Silbervoltameter und Quecksilberfaden (oder Normalelement) als verbindliche Darstellungen ersten Ranges verlassen, andererseits die Zahlenwerte sowohl der Spannungs- als auch der Stromeinheit geändert. Das Produkt 1 Amp · Volt liegt also definitionsmäßig durch Gleichung (12a) fest und wird durch Messung einer Kraft erhalten, etwa mit Hilfe der „Stromwaage". Zur Bestimmung der beiden Einheiten einzeln wird auch noch ihr Quotient festgelegt, und zwar so, daß definitionsmäßig Gleichung (12b) erfüllt ist, die Messung geschieht in der angegebenen Weise an einer Spule. Der Vergleich von Gleichung (11) und (12) zeigt, daß bei diesem Vorgehen der Betrag des neuen Amp fast [Gleichung (13a)] mit dem empirischen Amp übereinstimmt, dagegen sind sowohl das neue Volt als auch der neue Ohm um (rund) $5 \cdot 10^{-4}$ kleiner als die empirischen Einheiten. Die Eichwerte sämtlicher Normalien für Widerstände, Induktivitäten und Kapazitäten sind grundsätzlich verändert. Hinsichtlich der meßtechnischen Seite dieser neuen Definitionen muß bemerkt werden, daß die Änderungen gegenüber den empirischen Einheiten groß genug sind, um auch bei Laboratoriumsmessungen mit solchen Normalien bei dem erreichbaren Genauigkeitsgrade von $5 \cdot 10^{-4}$ bemerkbar werden zu können, ja sogar, um schon bei geeichten Anzeigegeräten einer bestimmten Präzisionsklasse in Erscheinung treten zu können. Gegenwärtig kann sich im übrigen die naturwissenschaftliche Öffentlichkeit noch kein

1) Spekulativ befriedigender sind, wie erwähnt, Benennungsformeln mit der Ladung, nicht mit dem Widerstande als unabhängiger elektrischer Grundeinheit. Zu diesem Zweck mag man sich die Ladungseinheit abgeleitet denken aus der lediglich aus technischen Gründen verkörperten Widerstandseinheit vermöge der Beziehung: (Ladung)^2 gleich Energie mal Zeit/Widerstand.

2) Zeitschr. f. techn. Phys. **16**, 425, 1935 (Diskussionsbemerkung).

3) Dies ist im wesentlichen die von H. König vertretene Auffassung (Bull. Schweiz. Elektr. Ver. 27, 621, 1936): Als Definition für die notwendige vierte Einheit soll gelten $\mu_0 = p \cdot (\mu_0)_{\text{abs}}$, wobei die Zahl p durch Verabredung festzulegen ist. In unserer Ausdrucksweise ist sie, damit Gleichung (14b) gewährleistet wird, gleich dem Zahlenwerte von $(\mu_0)_{\text{abs}}/(\mu_0)_{\text{emp}}$. Man kann dann sagen, daß bei dieser Auffassung die erwähnten praktischen Vorteile des Giorgischen Vorschlages sich mit den theoretischen Vorteilen der absoluten Systeme vereinigen.

abschließendes Urteil darüber bilden, ob die Einheiten mit größerer Genauigkeit durch die Messung einer Kraft und einer Selbstinduktivität, oder durch die Messung eines Silberniederschlages und eines Quecksilberfadens erhalten werden. Die bis zur endgültigen Einführung der neuen Einheiten vorgesehene Zeitspanne soll ohne Zweifel den meßtechnischen Zentralinstituten der einzelnen Länder, die die Einheitenänderung beschlossen haben, die Möglichkeit geben, durch Ausgabe von Versuchsberichten mit zahlenmäßigen Belegen die Überlegenheit der einen oder der anderen Messungen über jeden Zweifel zu erheben. Solange dies noch nicht geschehen ist, liegt hier entschieden der schwächste Punkt der geplanten Einheitenänderung.

Nach der neuen Regelung sind also 1 Amp und 1 Volt nicht, wie die empirischen Einheiten in der Mieschen Auffassung, unabhängige elektrische Einheiten, sondern aus den drei „absoluten" mechanischen Grundeinheiten 1 cm, 1 sec, 1 g gemäß Gleichung (5a, b) abgeleitete Einheiten.

Die Vorteile dieser Regelung werden in folgendem erblickt: Die Einheiten der elektrischen und magnetischen Größen können nur noch zusammen mit den drei mechanischen Grundeinheiten eine Änderung erfahren. Solange eine solche nicht eintritt, liegen das Produkt und der Quotient von 1 Amp und 1 Volt grundsätzlich für alle Zeiten unabhängig von jeder kommenden Erhöhung der Meßgenauigkeit fest. Werden also künftig Darstellungen der beiden Einheiten durch Verkörperungen oder Meßverfahren im Sinne von Normalen zweiten Ranges beschlossen, so haben die diesen jeweils beigelegten Zahlenwerte immer nur die Bedeutung von Annäherungen, welche mit dem Fortschreiten der Feinmeßkunst mit immer wachsender Anzahl von Dezimalstellen angegeben werden können. Als Gewinn ist ferner anzusehen, daß gegenüber dem bisherigen Zustand von nun an vermöge Gleichung (12a) definitionsmäßig Einklang besteht zwischen elektromagnetischer und mechanischer Energie- und Krafteinheit[1]); man hat daher auch in bezug auf die Masseneinheit, da sie nicht abgeleitete Einheit, sondern Grundeinheit ist, keine unbequemen, gebrochenen Zahlenfaktoren mehr. Wenn ferner der Quotient 1 Volt/Amp gerade mit der Gleichung (12b) definiert wird, so wird damit die Bequemlichkeit gewonnen, daß man wieder in Übereinstimmung steht mit der früheren Entwicklung, mit dem „ursprünglichen technischen Maßsystem". Dieser Zustand erscheint dann erstrebenswert, wenn man die empirischen Einheiten in erster Linie bewertet als unvollkommene Verkörperungen der absoluten Einheiten; das praktische Miesche System sieht demgegenüber die empirischen Einheiten als unabhängige Grundeinheiten an; der unter a) genannte Vorschlag in der Auffassung, daß Gleichung (12a) und der Wert $(\mu_0)_{emp}$ vorgeschrieben werden, hat die gezeigte Bequemlichkeit hinsichtlich der bestehenden Widerstandsnormalien usw. Übrigens kann man gewisse Einheitenfragen umgehen, lediglich indem man die Schreibweise der elektromagnetischen Gleichungen in bestimmter Weise ändert[1]).

Falls man überhaupt eine Änderung der elektrischen Einheiten gutheißt, sind die gezeigten Vorzüge der internationalen Regelung sehr gewichtig, sobald die obenerwähnten meßtechnischen Fragen mit befriedigendem Übergewicht nach der einen Seite entschieden sind.

Man kann hier schließlich noch fragen, in welcher Beziehung die neuen „absoluten" Einheiten zu den „natürlichen", auf vier Grundeinheiten aufgebauten Systemen stehen, deren Bedeutung oben erwähnt wurde und heute wohl allgemein anerkannt wird. Die neuen Einheiten 1 Amp, 1 Volt sind „absolut" definiert, also aus den drei mechanischen Grundeinheiten 1 g, 1 cm, 1 sec abgeleitete, daher auch durch Messung unmittelbar an diese angeschlossene Einheiten. Die dies bestimmenden Gleichungen (12a, b), (5a, b) sind Identitäten, vermöge derer die abgeleiteten Einheiten (Benennungen) einer elektromagnetischen Größe im absoluten elektromagnetischen (ursprünglich technischen) System einerseits und im praktischen Mieschen System andererseits identisch ineinander überführt werden können[2]). Aber gerade aus diesem Grunde liegt auch eine grundsätzliche Notwendigkeit, die Ausdrucksweise des praktischen Mieschen Systems aufzugeben, nicht vor. Der Anhänger der Mieschen Grundsätze schätzt die Anschaulichkeit und Bequemlichkeit der Benennungsformeln (abgeleiteten Einheiten) dieses Systems und sieht in ihm die Anerkennung der Tatsache, daß „die Elektrizität nicht durch Mechanik erklärt werden kann", ohne den Vorwurf befürchten zu müssen, daß er in den Benennungen (Dimensionen) in Verkennung ihrer willkürlichen Natur etwas vom „wirklichen Wesen" der physikalischen Größen suche. Auch bei den neuen „absoluten" Einheiten kommt

1) Es würde keine unüberwindlichen Schwierigkeiten bieten, diesem Vorgehen entsprechend die Wärmemengeneinheit 1 cal aufzugeben und durch die Energieeinheit der Gleichung (12a) zu ersetzen: es ändern sich damit lediglich die Beträge gewisser Stoffwerte im Verhältnis des Wärmeäquivalentes.

1) Joh. Fischer, Physik. Zeitschr. **37**, 120. 1936.
2) So z. B. F. Henning in Kohlrauschs Lehrbuch der praktischen Physik, Leipzig und Berlin 1935, S. 10 und besonders S. 953.

man ja nicht mit mechanischen Messungen aus, vielmehr tritt zu ihnen eine rein elektrische Messung, nämlich die an einer Spule.) Von diesem Standpunkt aus wird man daher der Einführung der neuen Einheiten in erster Linie meßtechnisches Gewicht beilegen, indem man den Messungen die Deutung gibt, daß die Einheiten für Strom (Ladung) und Spannung gegenüber den empirischen Einheiten nunmehr durch andere Verfahren und zu veränderten Beträgen festgelegt werden, nämlich so, daß sie in der gezeigten Weise meßtechnisch unmittelbar an die mechanischen Grundeinheiten angeschlossen sind, daß aber diese Änderung, weil verträglich mit den Grundgedanken des praktischen Systems, kein Grund ist, die Ausdrucksweise dieses Systems zu verlassen.

Weiteres Schrifttum.

(Ohne Anspruch auf Vollständigkeit.)

R. T. Birge, Am. Phys. Teacher **2**, 42, 1934.
R. T. Glazebrook, Proc. Phys. Soc. **48**, 444, 1936.
H. König, Bull. Schweiz. El. Ver. **27**, 589, 1936.
J. Wallot, Elektrot. Zeitschr. **57**, 813, 1936.

Während des Druckes erschien:

J. Wallot, Phys. in regelm. Ber. **5**, 1, 1937.
A. E. Kenelly, Bull. Schweiz. El. Ver. **28**, 17, 1937, kommentierte Übersetzung aus El. Engineering **54**, 1375, 1935 von M. Landolt.

Karlsruhe, Dezember 1936. Lehrstuhl für theoretische Elektrotechnik und Schwachstromtechnik der Technischen Hochschule.

(Eingegangen 11. Januar 1937.)

Nachtrag zum Vorlesungsverzeichnis für das Sommerhalbjahr 1937.

Technische Hochschule Aachen. **Starke:** Experimentalphysik II, 4; Übungen im physikalischen Laboratorium: Praktikum, 4 und 2, für Vorgeschrittene, 4; Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Seitz), nach Vereinbarung, *g*. — **Seitz:** Theorie der Wärmestrahlung, 1; Elektronen- und Ionenlehre, 2; Theorie der Wechselströme, 1; Übungen im physikalischen Praktikum, 2; Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen, tägl. — **Wieselberger:** Strömungslehre I und II, 2, Übungen, 2; Angewandte Aerodynamik, 2, Übungen, 2; Aerodynamisches Laboratorium, 2; Seminar über Fragen der Aerodynamik und Flugtechnik, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten in Aerodynamik und Flugtechnik, tägl. — **Kirschbaum:** Photographie, 1, Übungen, 4; Einführung in die Lehre der Röntgenstrahlen (Ergänzungen zur Experimentalphysik), 1. — **Fucks:** Elektrodynamik bewegter Körper, 3. —

Universität Basel. **Hagenbach:** Experimentalphysik I, 6; Physikalisches Praktikum für Vorgerücktere, tägl., für Anfänger, 8, für Mediziner und Ärzte (mit Wehrli), 2; Physikalisches Kolloquium (mit Zickendraht und Wehrli), 14tägig, 2 *g*. — **Matthies:** Thermodynamik, 4, Übungen, 1; Vektor- und Tensorrechnung, 2, Übungen, 1; Mathematisch-physikalisches Seminar, 1. — **Zickendraht:** Magnetismus und technische Anwendungen, 2; Farbenlehre, 1; Repetitorium der Elektrizitätslehre, insbesondere Hochfrequenz, 1. — **Zehnder:** Geschichte der Physik, neuere Zeit, 1; Der physikalische Aufbau der Lebewesen, 1. — **Bürki:** Photographische Chemie, 1; Photographisch-chemisches Praktikum für Anfänger, 3, für Vorgerücktere, 3. — **Wehrli:** Über die Bausteine der Atome, 1. — **Miescher:** Ausgewählte Kapitel aus der Wärmelehre, 2. —

Technische Hochschule Berlin. **Geiger:** Experimentalphysik, 2; Höhere Experimentalphysik, 2; Physikalische Übungen, 4, für Fortgeschrittene (mit Kopfermann), 8; Praktische Arbeiten im Physikalischen Institut, tägl. — **Westphal:** Physikalische Übungen, 4, Ergänzungen für Physiker, 2 *g*. — **N. N.:** Theorie der Elektrizität, 3, Übungen, 2; Mechanik II, 3, Übungen, 2; Seminar über neuere theoretische Physik, 2 *g*; Kolloquium über neue Probleme der Physik, 14tägig, 2 *g*; Kolloquium über Probleme der technischen Physik (mit Engl, Gehrts, Leithäuser, Seegert, Schachenmeier und Weidert), 14tägig, 2 *g*. — **K. E. Becker:** Ausgewählte Kapitel der technischen Physik, 1; Physikalisch-technisches Praktikum, nach Vereinbarung; Experimentalballistik II: Meßverfahren mit Vorführungen, 2; Physikalisch-technische Forschungsarbeiten, tägl. — **Schmidt:** Ausgewählte Fragen der Wärmemeß- und Regeltechnik II, nach Vereinbarung. — **Ramsauer:** Physikalisch-technische Arbeiten, nach Vereinbarung. — **Schachenmeier:** Ausgewählte Probleme der theoretischen Physik, 1; Allgemeine Meßtechnik: Grundlagen und praktische Anwendungen, 1. — **Gehrts:** Glühkathoden-Gasentladungen: Gleichrichter, gittergesteuerte Gleichrichter, 2; Schwingungserzeugung durch Röhren: Kurze Wellen, Dezimeterwellen, 2. — **Wallot:** Einheiten, Maßsysteme, Dimensionen, 1. — **Kopfermann:** Emission, Absorption, Dispersion, 2. — **Frerichs:** Einführung in die Theorie der Linien und Bandenspektra, 1. — **Engl:** Physik der farbigen und stereoskopischen Filmprojektion, 1; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten, tägl. — **Weidert:** Geometrische Optik II, 2, Übungen, nach Vereinbarung *g*; Seminar für optisches Rechnen I und II, 2; Theorie und Wirkungsweise der optischen Instrumente I und II, 2; Übungen im Gebrauch optischer Instrumente I und II, 4; Optische Laboratoriumsarbeiten für Fortgeschrittene, tägl.; Geometrische Optik für Geodäten, 2; Lichtkundliche Übungen: Lichttechnik, optische Instrumente, Photographie (mit Arndt und Stenger), 2; Kolloquium über neuere Probleme der technischen Optik (mit Picht), 14tägig, $1^1/_2$ *g*. — **Picht:** Beugungstheorie optischer Systeme, 2; Elektronenoptik und ihre Anwendungen in der Technik, 3, Übungen, 1. — **Berthold:** Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung: Röntgen-Interferenz-Verfahren, 1; Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, 2. — **Jung:** Einführung in die Geophysik: Erdbeben, Aufbau und physikalischer Zustand des Erdinnern, Physik des Meeres und der Atmosphäre, 2; Geophysikalische Übungen im Gelände (mit Reich), nach Vereinbarung. —

Universität Bonn. **Füchtbauer:** Experimentalphysik II: Mechanik, Akustik, Optik, 4; Physikalisches Praktikum, 8, für Mediziner, 4, für Fortgeschrittene, tägl.; Leitung selbständiger wissenschaftlicher Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Grebe, Szivessy, Wever, Dreisch und Schmitz), 14tägig, $1^1/_2$ *g*. — **N. N.:** Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 4. — **Grebe:** Physik der Röntgenstrahlen, 2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten aus der Physik der Röntgenstrahlen, tägl. — **Szivessy:** Einführung in die Ballistik: Lehre vom Schuß, 2. — **Wever:** Physikalisch-technische Exkursionen, nach Vereinbarung, *g*. — **Schmitz:** Elektrische Maschinen, 2. — **Dreisch:** Polarlicht, Höhenstrahlung, Heavisideschicht, 1; Einführung in die Meteorologie an Hand der Wetterkarte, 1. —

Technische Hochschule Danzig. **Buchwald:** Prinzipe der Mechanik, 2, Übungen, 14tägig, 1 *g*; Quantenmechanik II, 2; Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl.; Übungen zur Atomphysik, 2; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene I (mit Kossel), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Kossel), 1 *g*. — **Kossel:** Experimentalphysik: Elektrizität und Magnetismus, 4, Ergänzung, 1; Theorie der Interferenz der Röntgenstrahlen, 1; Kleines Physikalisches Praktikum (mit Wolf), 4 und 3; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene II, tägl., für fortgeschrittene Elektrotechniker, 4. — **Wolf:** Physik der Röntgenstrahlen, 1; Praktisches Rechnen in Naturwissenschaft und Technik, 1; Handfertigkeitspraktikum, 4. —

Technische Hochschule Dresden. **Tomaschek:** Experimentalphysik II, 4; Ergebnisse der modernen Physik, 1 *g*; Physikalisches Praktikum I, 3 und 6, II, 9; Praktikum für größere physikalische Arbeiten, tägl.; Physikalisches Seminar, 14tägig, 2 *g*. — **Falkenhagen:** Theoretische Physik: Mechanik, 3, Übungen, 14tägig, 2; Quantentheorie und Chemie, 2; Größere physikalische Arbeiten, tägl. außer Sonnabend. — **Wiedmann:** Röntgenstrahlen II, 1; Röntgentechnische und spektroskopische Übungen, 3 und 6; Selbständige Arbeiten im Röntgeninstitut, tägl. — **Teichmann:** Theoretische Grundlagen der Photoeffekte, 2; Vakuumtechnik, 1. — **Fleischer:** Die Photozelle, 1 *g*. — **Frieser:** Ausgewählte Kapitel aus der Photographie, 2; Kolloquium über neuere Forschungen auf dem Gebiete der wissenschaftlichen Photographie, 2; Photographisches Praktikum für Anfänger, 4 *g*, für Fortgeschrittene, 4, über Sondergebiete, 2; Selbständige Arbeiten im Photographischen Institut, 2, 4, 8, halb- und ganztägig. — **Klughardt:** Die Berechnung optischer Systeme II: Trigonometrische Durchrechnung und Fehlerkorrektur, 2, Rechenübungen, 1 *g*; Die Spektralapparate, 1; Farbenlehre und Farbenmessung, 2. — **Joachim:** Wissenschaftliche Kinematographie, 1 *g*. — **N. N.:** Meteorologie. — **Günther:** Geschichte des mathematisch-physikalischen Unterrichts, dabei Geschichte der Schulmathematik und Schulphysik, 2; Praktisch-pädagogisches Seminar, Praktische Pädagogik, Mathematisch-physikalische Unterrichtslehre, 2 *g*.—

Universität Erlangen. **Gudden:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Optik, Atomphysik, 4; Physik des Fliegens und Schießens, 2; Übungen im Beobachten und Messen für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene (mit Mönch), 8; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl.; Besprechung physikalischer Tagesfragen (mit Reiger, Rump und Mönch), 1. — **Mönch:** Experimentalphysik: Mechanik, 2. — **Reiger:** Theoretische Physik: Elektrizität, 4; Elektrotechnische Übungen, 3; Wissenschaftliche Arbeiten, ganztägig; Wirtschaft und physikalische Technik, 1. — **Rump:** Strahlenkunde: Elektrische Wellen, Licht-, Röntgen-, Radium-, Kathoden- und Korpuskularstrahlen und ihre Anwendung in der Heilkunde, 1. — **Zinner:** 14tägiger Lehrgang auf der Sternwarte, *g*. —

Bergakademie Freiberg. **Aeckerlein:** Experimentalphysik, 4, Ergänzung, 2; Physikalische Übungen, 2. — **Lorenser:** Angewandte Geophysik, 1, Übungen, 1. —

Universität Freiburg (Schweiz). **Brasey:** Experimentalphysik, 5, Repetitorium, 1; Praktische physikalische Übungen, 4; Physikalisches Laboratorium für Anfänger, 12, für Fortgeschrittene, tägl. — **Huber:** Mechanik, 4. —

Universität Graz. **Schrödinger:** Feldphysik II, 4; Seminar für theoretische Physik, 1; Besprechung physikalischer Fragen (mit Rumpf und Székely), 1. — **N. N.:** Experimentalphysik, Elektrodynamik, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Übungen in der Anstellung physikalischer Schulversuche, 2. — **Rumpf:** Einführung in die Experimentalphysik II: Elektrizität und Magnetismus, Radioaktivität, 5, Mathematische Ergänzungen, 1; Physikalische Übungen für Anfänger I, 4. — **Székely:** Physikalische Übungen für Anfänger II, 6; Die wissenschaftlichen Grundlagen des Tonfilms, 1. — **Wegener:** Meteorologie, 3; Ausgewählte Kapitel aus der Geophysik, 2. — .

Technische Hochschule Graz. **Kohlrausch:** Physik III: Elektrizität, 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus der chemischen Physik, 20; Physikalisches Praktikum, 6 und 2. —

Universität Halle. **N. N.:** Physik II, 4; Physikalisches Weltbild, 1 *g*; Physikalisches Praktikum für Anfänger und Fortgeschrittene, 6, für Mediziner, Landwirte und Pharmazeuten, 2; Physikalisches Proseminar, 2 *g*; Physikalisches Kolloquium, 2 *g*; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten (mit Pose), tägl. — **Smekal:** Elektrizität und Magnetismus, 4; Elektrizitätsleitung nichtmetallischer Festkörper, 1; Übungen zur Elektrizitätslehre, 1 *g*; Seminar für theoretische Physik, 2 *g*; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Pose:** Experimentelle Grundlagen der Quantentheorie, 2; Handfertigkeitspraktikum, 3; Demonstrationsübungen, 2. —

Universität Hamburg. **Koch:** Experimentalphysik II: Mechanik, Akustik, Optik, 4; Physikalisches Praktikum (mit Goos, Müller und Meyer), 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen (mit Tams, Goos und Meyer), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Lenz, Möller und Harteck), 2. — **Lenz:** Elektrodynamik, mit Übungen, 4; Die Prinzipien der klassischen und der Quantenmechanik II, 1; Theoretisch-physikalisches Vortragsseminar, 2. — **Meyer:** Röntgeninterferenzen, 1; Physikalisches Proseminar (mit Knauer und Jensen), 2. — **Knauer:** Die neuesten Ergebnisse der Physik: Neutronen, Positronen, schwerer Wasserstoff, künstliche Atomumwandlung, mit Experimenten, 1. — **Goos:** Spektroskopie, 1. — **Müller:** Anleitung zur Ausführung von physikalischen Schulversuchen, 2. — **Möller:** Drahtlose Telegraphie mit Versuchen, 2, Übungen, 1; Wellenausbreitung, 1; Elektrotechnisches Praktikum, 10;

Gewerbelehrerpraktikum, 5; Physikalisch-technisches Kolloquium (mit Hagen), 2; Wissenschaftliche Arbeiten Fortgeschrittener (mit Hagen); Feldnachrichtengeräte, mit Versuchen, 1. — **Schott:** Geophysikalisches Kolloquium (mit Raethjen, Schulz, Tams und Kuhlbrodt), 14tägig, $1^1/_2$ g. **Jensen:** Die Beleuchtung durch Sonne und Himmel, 1. — **Tams:** Die geophysikalischen Grundlagen der Entwicklung des Erdantlitzes, 2; Seismische Übungen, 2; Seminar über die Physik der festen Erde, 14tägig, 2 g. — **Raethjen:** Allgemeine dynamische Meteorologie, 2, Übungen, 14tägig, 2; Meteorologisches Praktikum, 3; Besprechung meteorologischer Arbeiten, 2; Meteorologische Forschungsarbeiten, tägl. — **Seilkopf:** Flugmeteorologie II, 1. — **Kleinschmidt:** Einführung in die Meteorologie, für Meteorologen, Geographen und Mediziner, mit Lichtbildern. 2. — **Kuhlbrodt:** Spezielle Klimatologie der Meere und ozeanischer Inseln, 1. —

Universität Jena. Kulenkampff: Experimentalphysik II: Elektrizitätslehre, Atomphysik, 4; Physikalisches Praktikum für Mathematiker und Physiker (mit Hanle und Wißhak), 6, für Chemiker und Pharmazeuten, 4; Kleines Praktikum (mit Hanle und Wißhak), $2^1/_2$, für Fortgeschrittene, 10; Besprechung von Arbeiten aus dem Physikalischen Institut (mit Hettner), 14tägig, 2 g; Physikalisches Kolloquium (mit Wien, Esau, Kühl und Hettner), 2 g; Leitung selbständiger physikalischer Arbeiten (mit Wien, Straubel, Hettner und Hanle), tägl. — **Hettner:** Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, mit Übungen, 4; Hydrodynamik, 2; Theoretisch-physikalisches Seminar für Fortgeschrittene (mit Wessel), 1 g; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Arbeiten, tägl. — **Hanle:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene III: Elektrizität, 2; Handfertigkeitspraktikum, 3. — **Wessel:** Elektromagnetische Schwingungen, 2. — **Wißhak:** Struktur der Materie, 1. — **Esau:** Theorie und Anwendung der Elektronenröhre, 3; Technische Thermodynamik, 1; Technisch-physikalisches Praktikum, 3; Großes technisch-physikalisches Praktikum, tägl.; Technisch-physikalisches Seminar, 2 g. — **Kühl:** Interferenz des Lichts, 3; Dispersion und Absorption, 3; Optisches Praktikum, 4; Mikroskopisches Praktikum, 2; Optisches Seminar, 14tägig, 2 g; Leitung selbständiger Arbeiten, tägl. — **Siedentopf:** Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie, 1. — **Rzymkowski:** Photographisches Praktikum II, für Fortgeschrittene, 3. — **Sieberg:** Geologische, physikalische und angewandte Erdbebenkunde II, 1; Erdbebenkundliches Praktikum, g; Anleitung zu selbständigen erdbebenkundlichen Arbeiten, tägl.; Erdbebenkundliches Kolloquium, nach Vereinbarung g. — **Meißer:** Einführung in die angewandte Geophysik, 2 g; Theorie und Praxis der Luftschallmessungen, 1 g; Geophysikalisches Praktikum (mit M. Müller und Martin): a) Einführung in die Instrumentenkunde der angewandten Geophysik, 2, b) Allgemeine geophysikalische Untersuchungsmethoden, 2; Anleitung zu selbständigen geophysikalischen Untersuchungen (mit Martin), tägl. g. — **M. Müller:** Die Bedeutung der geophysikalischen Meßmethoden für die Erschließung der deutschen Erdöllagerstätten, 1 g. — **Martin:** Theorie der Aufzeichnung von Schwingungen, 1. —

Technische Hochschule Karlsruhe. Bühl: Experimentalphysik II, 3, III, 2; Physikalisches Laboratorium, 6 und 3; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, nach Vereinbarung; Physikalisches Kolloquium (mit Lehmann), 14tägig, 1 g. — **Lehmann:** Theoretische Physik B: Struktur der Materie, 4; Theoretisch-physikalisches Seminar, 1 g. — **Quade:** Theorie der Wechselströme II, mit Übungen, 3. — **Peppler:** Klimatologie, 2; Meteorologische Übungen, 2; Flugmeteorologie, 1. —

Universität Königsberg. Schütz: Experimentalphysik II: Elektrizität, 4, 5 und 2, Übungen, 2; Physikalisches Proseminar, 14tägig, 2 g; Physikalisches Kolloquium (mit Sauter und Kretschmann), 14tägig, 2; Physikalisches Praktikum (mit Sauter) 6 und 3; Anleitung zum selbständigen Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl. g. — **Volkmann:** Höhere Experimentalphysik: Akustik, 2. — **Sauter:** Theorie der Wärme, 4, Übungen, 1 g; Physikalisches Seminar (mit Kretschmann), 14tägig, 2; Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. g. — **Kretschmann:** Kinetische Gastheorie und andere Abschnitte der statistischen Physik, 2; Wellenmechanik, 2. — **Reichenbächer:** Quantentheorie, 2. — **N. N.:** Optik der Atmosphäre, 1; Erdbebenkunde, 1; Geophysikalisches Praktikum, 1 Tag; Besprechung geophysikalischer und meteorologischer Arbeiten, 2 g. —

Universität Leipzig. Hoffmann: Experimentalphysik II: Elektrizität, Magnetismus, Licht, 5; Höhere Physik, Ergänzungen zur allgemeinen Experimentalphysik, 1; Experimentelle Kernphysik, 1; Physikalisches Praktikum, 3, 6 und 9; Praktikum für Fortgeschrittene, 9; Selbständige physikalische Arbeiten, 24 und 44; Physikalisches Kolloquium (mit Heisenberg und Hund), 14tägig, $1^1/_2$ g. — **Heisenberg:** Theoretische Physik II: Wärmelehre, 4, Übungen, 1; Selbständige theoretisch-physikalische Arbeiten (mit Hund), 24 und 44; Seminar über die Struktur der Materie (mit Hund), 2 g. — **Hund:** Theorie des Aufbaus der Materie, 3. — **Schiller:** Einführung in die technische Mechanik mit besonderer Berücksichtigung der Ballistik, 2; Technisch-physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene: Angewandte Mechanik und Thermodynamik (Strömungslehre), 9; Selbständige technisch-physikalische Arbeiten: Angewandte Mechanik und Thermodynamik (Strömungslehre), 24 und 44; Besprechung neuerer Arbeiten aus Hydro-, Aero- und Thermodynamik, 14tägig, 2 g. — **Karolus:** Elektrotechnik II: Wechselströme, 2; Praktikum: Elektrotechnik II, 3; Technisch-physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene: Angewandte Elektrizitätslehre, 9; Selbständige technisch-physikalische Arbeiten: Angewandte Elektrizitätslehre, 24 und 44; Besprechung neuerer Arbeiten, nach Vereinbarung, g. — **Möbius:** Röntgenstrahlen, 2; Praktikum: Physikalische Schulversuche, 3. — **Kaempf:** Repetitorium der Physik, 2. — **Weickmann:** Thermodynamik der Atmosphäre, 2; Grundlagen und Methoden der kurz- und langfristigen Wettervorhersage, 2 g; Das Klima Südosteuropas, 1; Arbeiten im Geophysikalischen Institut und im Observatorium, tägl. g; Geophysikalisches Praktikum, 3; Geophysikalisches Kolloquium, 2 g. —

Universität München. Gerlach: Experimentalphysik: Optik, Magnetismus und Elektrizität, 4, Ergänzungsvorlesung, 1; Physikalische Übungen für Anfänger, 4, Ergänzungskurs, 4, für Pharmazeuten, 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Rüchardt), tägl.; Übungen für Fortgeschrittene (mit Rüchardt), tägl.; Physikalisches Seminar (mit Rüchardt), 2 g. — **Sommerfeld:** Optik, 3, Ergänzung, 1, Übungen, 2 g;

Seminar (mit Maue), 2 g; Ausgewählte Fragen der Wellenmechanik, 1 g. — **Rüchardt:** Höhere Experimentalphysik IV: Atomismus und Elektronik, 3. — **Maue:** Vektorrechnung (als Einführung in die theoretische Physik), 3, Übungen, 1; Einführung in die Wellenmechanik, 2. — **Auer:** Metallphysik, 2. — **Schmauß:** Wetterkunde II, 4, Übungen und Ergänzungen, 1 g; Besprechungen für Fortgeschrittene, in Verbindung mit dem Reichswetterdienst (mit Geiger), 14tägig, 2 g. — **Geiger:** Übungen im Gebrauch meteorologischer Meßgeräte, 2. — **Schneider:** Methoden des Höhenwetterdienstes, 1. —

Technische Hochschule München. **Zenneck:** Experimentalphysik II: Magnetostatik, Elektrostatik, Elektrische Ströme, Elektromagnetisches Feld, Elektromagnetische Schwingungen, Ionen und Elektronen, Elektrooptik, 4; Ausgewählte Kapitel aus der Experimentalphysik, 1; Physikalisches Praktikum, 4 oder 8, für Fortgeschrittene (mit v. Angerer), 1/2tägig; Wissenschaftliche physikalische Arbeiten (mit Goubau), tägl. — **Frank:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Optik, 3; Angewandte Physik einschließlich Elektrotechnik, 1, Übungen, 2; Feldmessen und Nivellieren für Landwirte, 1, Übungen, 1; Physikalische Übungen für Landwirte, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus Physik, ganztägig. — **Meißner:** Technische Physik III: Anwendungen der Mechanik und Akustik (Elektroakustik), 3; Technisch-physikalisches Praktikum, 4; Anleitung zur Ausführung wissenschaftlicher Arbeiten auf dem Gebiete der Technischen Physik, tägl. — **Ammann:** Kinematographie II mit Vorführungen, 1. — **v. Angerer:** Experimentelle Methoden der Physik, 2. —

Technische Hochschule Prag. **Tuma:** Physik: Reine Mechanik, 5; Physikalisches Praktikum, 3 und 6. — **Lichtenecker:** Grundzüge der theoretischen Physik; Astrophysik, 2. — **Körner:** Allgemeine Wärmelehre, 2. — **Swoboda:** Meteorologie und Klimatologie, 3, Meteorologisches Praktikum, 1. — **Zocher:** Photographie, 2, Übungen, 4. —

Technische Hochschule Stuttgart. **Regener:** Experimentalphysik II, 4; Physik der Atmosphäre, 1; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 3—6, für Fortgeschrittenere, 6; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium für Anfänger, 1; Physikalisches Kolloquium: Besprechung neuerer Arbeiten (mit Ewald, Glocker und Hückel), 1 1/2. — **Lenz:** Astrophysik, 2. — **Kramer:** Einführung in die wissenschaftliche Photographie, 1. — **Ewald:** Theoretische Physik II: Wärmelehre, 4; Theoretikum in Physik (mit Hönl), 3; Seminar über Atomphysik (mit Hückel und Hönl), 2; Anleitung zu Arbeiten auf dem Gebiete der theoretischen Physik, nach Vereinbarung. — **Hückel:** Mechanik deformierbarer fester Körper: Elastizitätstheorie, 2, Übungen, 1; Physikalische Grundlagen der Kolloidwissenschaft, 2. — **Hönl:** Hilfsmittel der mathematischen Physik, 2. — **Glocker:** Röntgenpraktikum für Anfänger, 3, für Fortgeschrittene (mit Dehlinger), 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten im Röntgenlaboratorium (mit Dehlinger), tägl.; Materialprüfung mittels Röntgenstrahlen, 1, Übungen (mit Dehlinger), 3. — **Dehlinger:** Aufbau und Technologie kristalliner Stoffe: Faserstoffe, 1. — **Reiher:** Schall- und Erschütterungstechnik: Anwendung auf praktische Beispiele, 2; Technisch-physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, 1, Übungen, 3; Technisch-physikalisches Seminar für Fortgeschrittene: Sonderprobleme der Technischen Physik, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten im Institut für Schall- und Wärmeforschung, tägl. — **Kleinschmidt:** Meteorologisches Praktikum, mit Übungen an der Wetterkarte, 2. —

Universität Tübingen. **N. N.:** Experimentalphysik, 4; Physikalische Übungen für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, 8, für Mediziner, 3; Wissenschaftliche Untersuchungen, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Braunbek), 2 g. — **Braunbek:** Theoretische Physik B: Thermodynamik, 2, Übungen, 1 g. — **Fesefeldt:** Mathematische Ergänzungen zur Experimentalphysik, insbesondere Strömungslehre, 1. — **Back:** Atomspektren und Atomstruktur, 2. —

Technische Hochschule Wien. **Mache:** Physik: Optik, Wärmelehre, 5; Die Strömung der Elektrizität in Gasen, 2; Physikalisches Praktikum I, 8, II (mit Aigner und Petritsch), 30, für Technische Chemiker, 4, für Feuerungs- und Gastechniker, 4. — **Flamm:** Physik: Wärmetheorie, 5; Theorie der Elektrizität, 3; Partielle Differentialgleichungen der Physik, 3, Physikalische Rechenübungen, 1; Physikalisches Seminar, 1. — **Aigner:** Physik, 3; Raumakustik, 2, Übungen; Hochfrequenzphysik, Elektroakustik und Elektrooptik, Tonfilm und Fernsehen, 3. — **Bauer:** Quantenstatistik, 1; Wellenmechanische Störungstheorie mit besonderer Berücksichtigung des Stark-Effektes, 2. — **Regler:** Medizinische und technische Röntgenkunde, 2. — **Schober:** Apparate und Meßmethoden der Spektroskopie, 3; Beleuchtungstechnische Übungen, 1. — **Mader:** Praktische Geophysik, 1. —

Von nachstehenden Hochschulen waren die Vorlesungsverzeichnisse nicht zu erlangen: Universität Göttingen und Technische Hochschule Breslau.

NACHRICHTEN.

Habilitiert: An der Universität Heidelberg Dr. Ludwig Wesch für Physik.

Ernannt: Der Professor an der Universität Turin Dr. Mario Bossolasco zum ord. Professor für Geophysik und Geodäsie an der Universität Messina, der a. o. Professor an der Universität München Dr. Wilhelm Schütz zum ord. Professor der Physik an der Universität Königsberg, der a. o. Professor an der Universität Berlin Dr. Alfred Klose zum ord. Professor der Astronomie und angewandten Mathematik an der gleichen Hochschule.

Gestorben: Der frühere ord. Professor der technischen Chemie an der Universität Bonn Dr. Karl Kippenberger, der frühere Hauptkonservator des Instituts für angewandte Chemie an der Universität Erlangen Professor Dr. Hermann Apitzsch, der ord. Professor der technischen Mechanik an der Technischen Hochschule Wien Dr. Paul Fillunger.

Verantwortlicher Schriftleiter: Professor Dr. Dr. h. c. P. Debye, Berlin. — Für den Anzeigenteil verantwortlich: A. Plohmann, Leipzig. — Verlag S. Hirzel, Leipzig C 1, Königstr. 2. — Druck: Bibliographisches Institut AG., Leipzig. — DA. I. Vj. 1937: 1100. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste 3. — Printed in Germany